PHILIPS

CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektronische componenten

Leerlingboek BS 7

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

© N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Nederland 1975

Alle rechten uitdrukkelijk voorbehouden.
Vermenigvuldiging of mededeling aan derden,
in welke vorm ook, is zonder schriftelijke
toestemming van eigenares niet geoorloofd.

Tweede, herziene druk 1976
Zesde druk 1980

161220.7

PHILIPS

CURSUS
BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektronische componenten

Leerlingboek BS 7

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

OVER DEZE SCANS
Als basis voor deze scans hebben wij gebruik gemaakt van de door 'Freeservicemanuals' in 2018 gemaakte scans. Wij hebben de pagina's van deze scans echter zorgvuldig naar de originele staat gerestaureerd, onder andere door alle persoonlijke notities en de antwoorden op alle oefeningen en vragen te verwijderen.

© N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Nederland 1975

Alle rechten uitdrukkelijk voorbehouden.
Vermenigvuldiging of mededeling aan derden,
in welke vorm ook, is zonder schriftelijke
toestemming van eigenares niet geoorloofd.

Tweede, herziene druk 1976
Zesde druk 1980

161220.7

INHOUDSOPGAVE

B 231

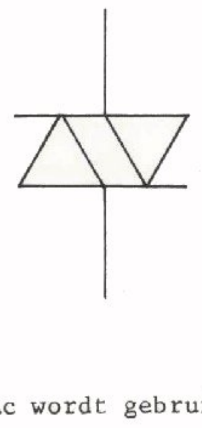
D E D I A C

INLEIDING

We naderen het eind van het traject halfgeleiders uit dit deel van de cursus. In deze en de volgende lessen komen nog enige halfgeleidercomponenten ter sprake die men gebruikt in schakelingen voor het opwekken van impulsvormige stromen en spanningen. Dit soort schakelingen vindt vooral toepassing bij het regelen van grote elektrische vermogens. Achtereenvolgens komen aan de orde de *diac*, de *thyristor*, de *triac* en de *unijunction transistor*.

DE DIAC

We beginnen met de diac. Dit is een halfgeleidercomponent die opgebouwd is uit een aantal lagen *P*- en *N*-materiaal. Op de constructie en inwendige werking gaan we niet nader in.



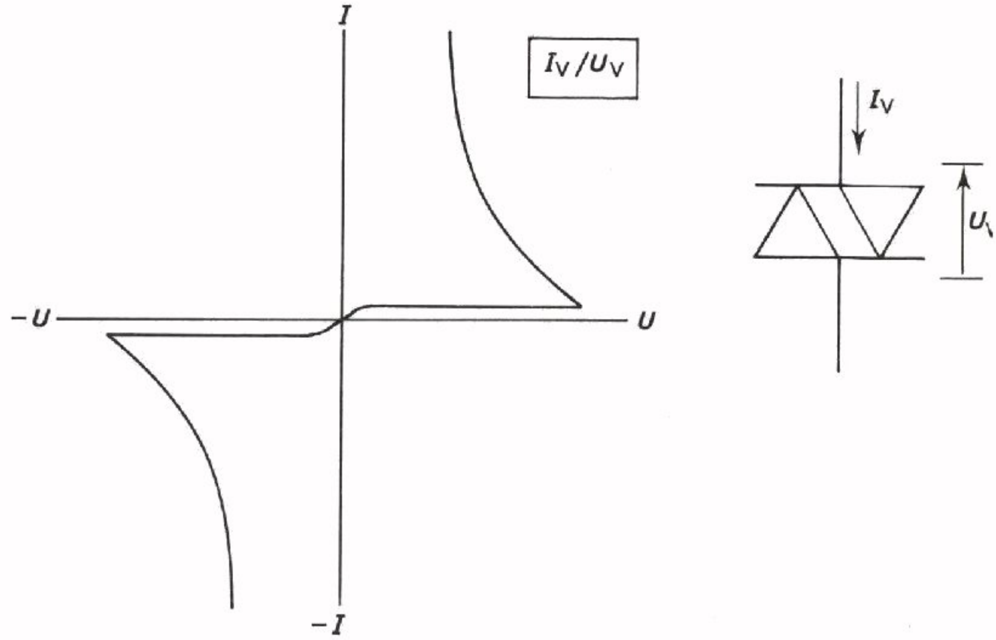
Hier ziet u het schemasymbool van de diac. Het is een component met *twee* aansluitingen, vandaar het eerste stuk van zijn naam (*di*).

Aan het symbool ziet u dat de diac kan worden beschouwd als een samenstel van twee dioden. Er zijn echter belangrijke verschillen met een serie- of parallelschakeling van twee dioden, zodat men in een schakeling een diac niet kan vervangen door twee dioden.

De diac wordt gebruikt bij het opwekken van impulsen voor het schakelen van *wissel*stromen. In het engels is wisselstroom: "alternating current", afgekort AC. Hieraan ontleent de di*ac* het tweede deel van zijn naam.

DE KARAKTERISTIEK VAN DE DIAC

We hebben al gezegd dat we het niet zullen hebben over de opbouw van de diac en over wat er in deze component gebeurt. Het is voor ons alleen van belang te weten wat men ermee kan doen. Daarvoor moeten we de karakteristiek kennen. Hieronder ziet u een voorbeeld. De karakteristiek geeft de elektrische eigenschappen van de component aan de klemmen weer.



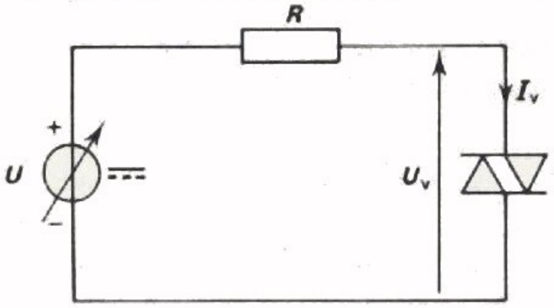
De karakteristiek verloopt nogal vreemd. Het meest opvallende is dat de karakteristiek uit twee delen bestaat die aan elkaar gelijk zijn; één deel in het eerste kwadrant van het assenstelsel en één in het derde kwadrant. Bij even grote positieve- en negatieve spanningen zijn de stromen ook even groot en tegengesteld. Men zegt dat de karakteristiek *symmetrisch* is. De karakteristiek blijft dezelfde als we dit blad onderste boven houden.

De symmetrie van de karakteristiek is een reden waarom het symbool ook symmetrisch is gekozen.

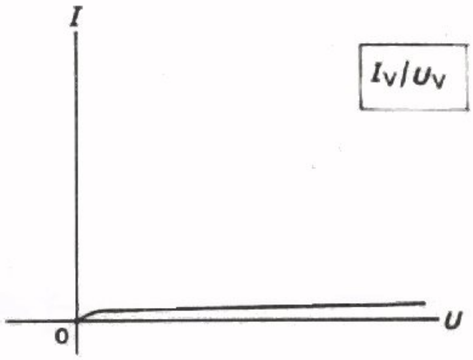
VRAAG

Kent u meer symmetrische componenten? Welke?

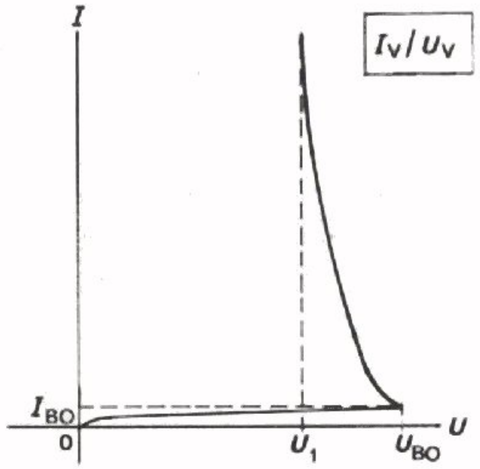
We gaan nu de karakteristiek wat nauwkeuriger bekijken.



We denken ons daartoe een diac aangesloten op een gelijkspanningsbron. Bij spanning U = 0 loopt er geen stroom door de schakeling. De stroom door de diac I_V = 0.



Voeren we de spanning U op, dan neemt de spanning U_V over de diac toe. Daarbij neemt de stroom I_V eerst even vrij snel toe en wordt daarna nagenoeg constant.



Bij een bepaalde spanning wordt de stroom plotseling veel groter.

De spanning waarbij dit gebeurt is de *doorslagspanning* U_{BO}. (BO komt van het engels: "break over" = doorslag).

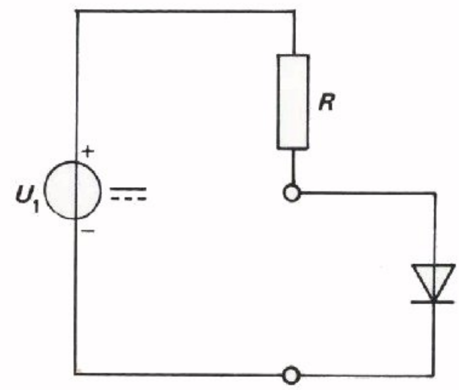
De stroom waarbij doorslag ontstaat, noemt men de *doorslagstroom* I_{BO}.

Als de diac doorslaat, neemt de stroom door de diac sterk toe, terwijl de spanning over de diac af neemt. Dit kan omdat de stroom door de weerstand toeneemt en daarmee dus de spanning over de weerstand.
Neemt de stroom door de diac verder toe dan neemt de spanning over de diac verder af. De karakteristiek is dan ook zoals hierboven getekend.
Wordt de diacspanning lager dan U_1 in bovenstaande grafiek aangegeven, dan kan dit alleen als I afneemt tot een waarde kleiner dan I_{BO} (bij U_1 gaat de karakteristiek vertikaal lopen). We komen hierop nog terug.

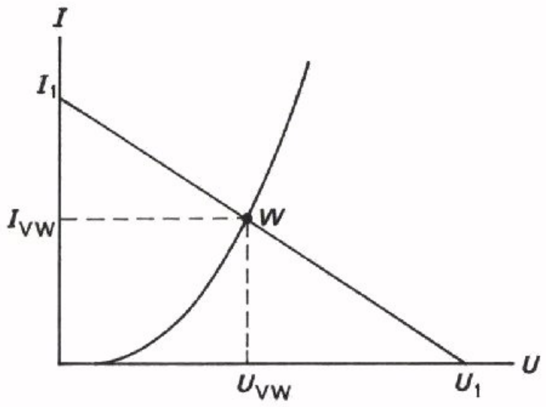
Sluiten we de spanningsbron in bovenstaande schakeling andersom aan, dan treden dezelfde verschijnselen op. De karakteristiek is volkomen symmetrisch. zoals u op voorgaand blad in de tekening ook ziet.

INSTELLING VAN DE DIODE

Voordat we gaan spreken over de instelling van de diac, herhalen we nog eens kort wat we geleerd hebben over de instelling van de halfgeleiderdiode.



Wordt een diode in serie met een weerstand aangesloten op een spanningsbron, dan kunnen we de diode opvatten als een belasting van de serieschakeling van spanningsbron U_1 en weerstand R.



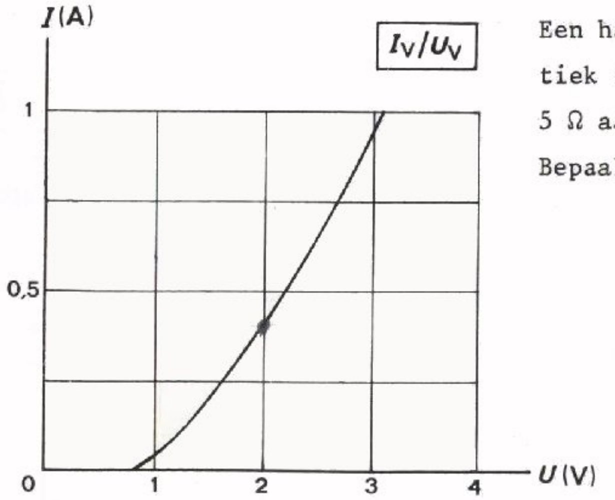
De belastinglijn geeft het verband tussen de klemspanning van de spanningsbron U_1 met serieweerstand R en de stroom.

Bij $I = 0$ is de (open) klemspanning gelijk aan U_1.

Bij klemspanning = 0, (kortsluiting) geldt dat de stroom $I_1 = \frac{U_1}{R}$.

Combineren we deze belastinglijn met de gegeven karakteristiek van de diode, dan geeft W het instelpunt van de diode aan.

OEFENING



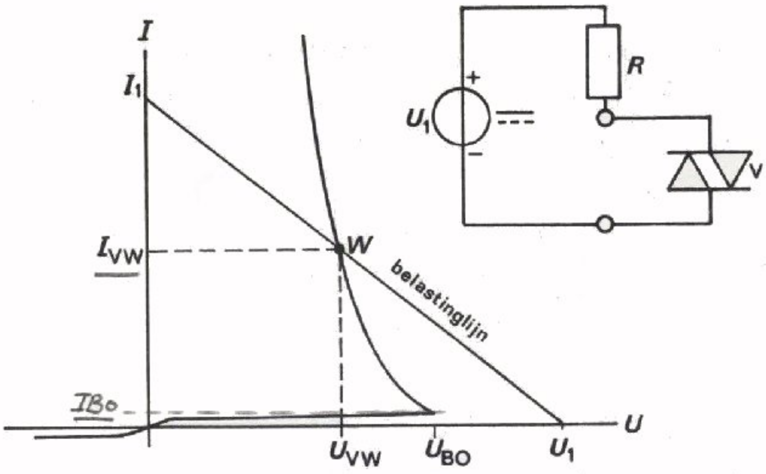
Een halfgeleiderdiode met deze karakteristiek is in serie met een weerstand van 5 Ω aangesloten op een spanning van 4 V. Bepaal nu:

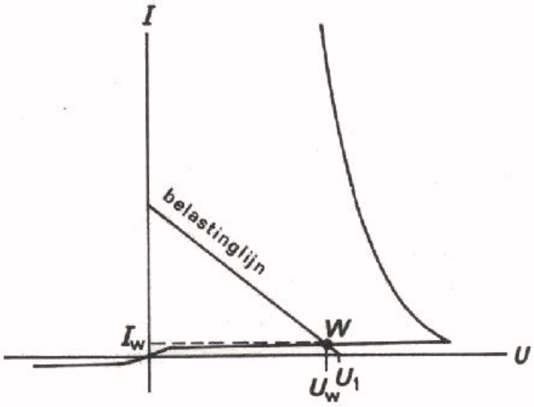
U_R =

U_V =

I_V =

INSTELLING VAN DE DIAC





Bij de instelling van de diac redeneren we precies hetzelfde als bij de gewone diode.
We tekenen weer de belaslijn voor de spanningsbron in serie met de weerstand R.
We combineren de karakteristiek van de diac met de belastinglijn. Zo vinden we in het snijpunt van deze lijnen het instelpunt W van de diac; de spanning over de diac is U_{VW} en de stroom erdoor I_{VW}.
Hiernaast is een belastinglijn getekend voor het geval dat U_1 kleiner is dan U_{BO}.
In het vorige geval was I_{VW} groter dan I_{BO}, maar in dit geval is de instelstroom I_{VW} kleiner dan I_{BO}.

OPMERKING:

Bedenk bij het bovenstaande, dat de helling van de belastinglijn afhankelijk is van de grootte van R en dat de plaats waar de belastinglijn de U-as en de I-as snijdt, wordt bepaald door de grootte van U_1.

Op blad B231.1 vermeldden we, dat een diac gebruikt wordt voor het opwekken van impulsen. Dit gebeurt als volgt:
Bij een spanning U die kleiner is dan de doorslagspanning U_{BO} vinden we een kleine instelstroom. Bij een spanning $U > U_{BO}$ vinden we een grote instelstroom. Afhankelijk van de grootte van de spanning laat een diac (bijna) geen stroom of een zeer grote stroom door. Door een diac telkens gedurende korte tijd een grote stroom door een weerstand te laten sturen, ontstaan spanningsimpulsen over deze R.

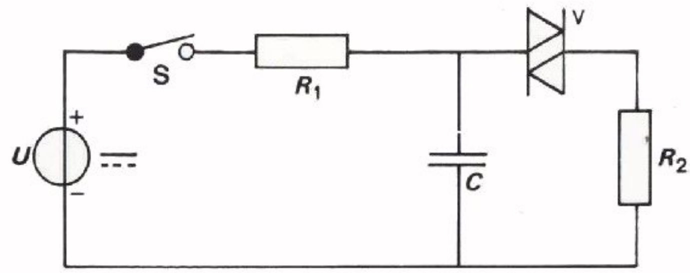
OPMERKING

Om een indruk te krijgen van de grootte van stromen en spanningen bij een diac volgen hier de gegevens van een BR 100.

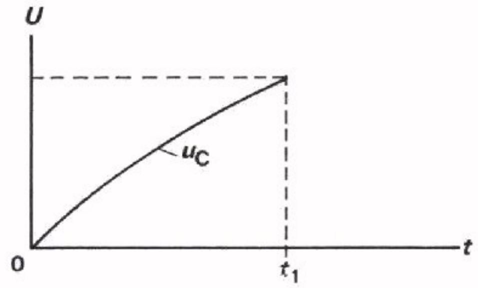
$U_{BO} \approx$ 36 V		Voor geleiding	$U_{VW} \approx$ 30 V
$I_{BO} \approx$ 100 µA			$I_{VW} \approx$ 10 mA.

GEBRUIK VAN DE DIAC

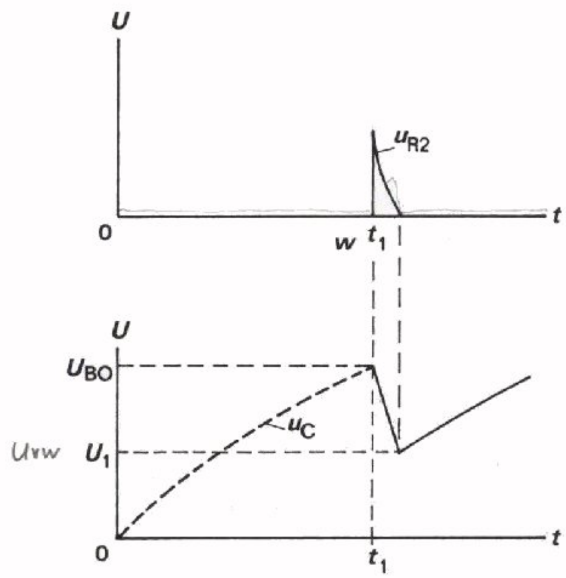
We vragen ons natuurlijk af waarvoor de diac wordt gebruikt en hoe hij dan wordt geschakeld. In de inleiding is al gezegd dat de diac toepassing vindt in schakelingen waarmee impulsen worden gemaakt. We demonstreren dit aan een eenvoudig voorbeeld.



Een R_1C-schakeling is aangesloten op een gelijkspanningsbron. Over de condensator staat de serieschakeling van R_2 en een diac V.



Sluiten we de schakelaar, dan wordt de condensator C langzaam geladen via de grote weerstand R_1.



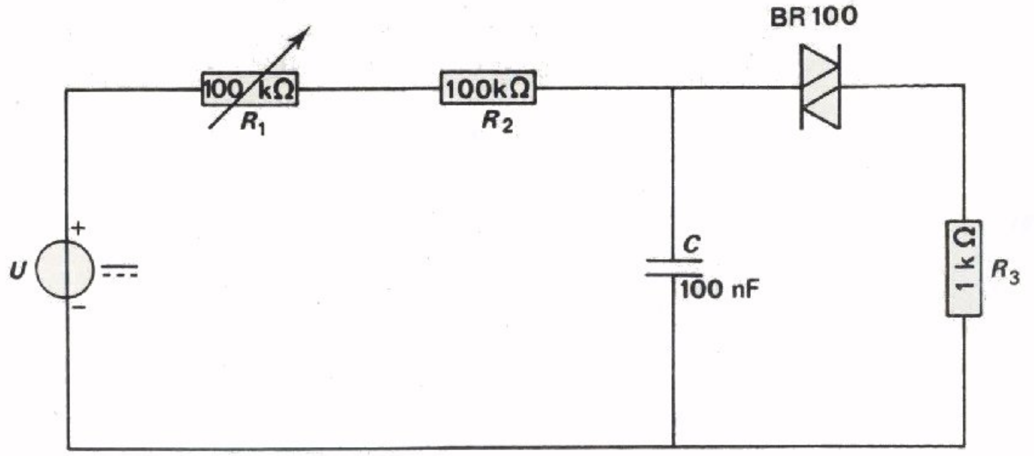
Na enige tijd wordt de doorslagspanning van de diac bereikt. Dit is het geval op tijdstip t_1. De diac wordt geleidend. Er gaat plotseling een grote stroom door R_2 lopen die de condensator snel gedeeltelijk ontlaadt. Dit gebeurt snel omdat R_2 en de diac samen een veel kleinere weerstand bezitten dan R_1.

De spanning over de condensator neemt nu af tot de waarde U_1; de stroom door R_2 neemt wel af, tot de waarde I_{BO} zodat de diac plotseling spert.

Daarna begint het proces weer opnieuw.

Op deze manier wordt met behulp van een gelijkspanning een zich steeds herhalende impulsstroom door R_2 verkregen. De frequentie waarmee de impulsen elkaar opvolgen wordt o.a. bepaald door de grootte van R_1 en C. In volgende opdracht gaan we dit bekijken.

OPDRACHT: METEN AAN EEN IMPULSGENERATOR



- Bouw deze schakeling.
- Stel R_1 in op zijn maximale waarde.
- Stel U in op 50 V.
- Stel de verzwakker van de Y-versterker van de oscilloscoop in op 5 V/div.
- Sluit een oscilloscoop aan over R_3 en bekijk de spanningsimpulsen.

  Hoe groot is de frequentie? f =

- Stel R_1 vervolgens in op zijn kleinste waarde en bepaal weer de frequentie.

  f =

- Hoe groot is de topwaarde van de spanning op het scherm?

  U_{R3T} =

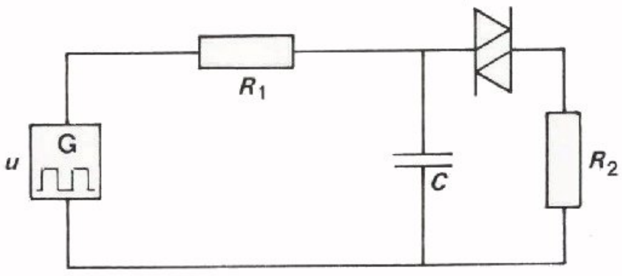
- Bepaal de spanning over C op het moment dat de diac gaat geleiden. Met andere woorden: bepaal U_{BO}.

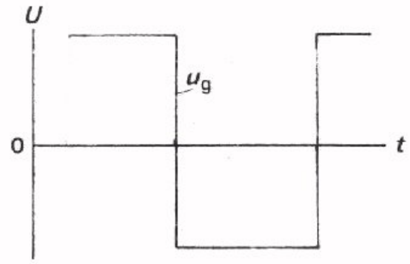
  U_{BO} =

- Controleer de symmetrie van de diac door de polariteit van de klemmen van de spanningsbron te verwisselen en opnieuw U_{BO} en de spanning over R_3 te bekijken.

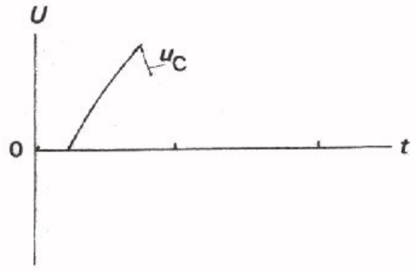
  U_{BO} = U_{R3T} =

In het voorafgaande hebben we de diac beschouwd in een schakeling die met gelijkspanning wordt gevoed. We gaan nu na wat er gebeurt als we diezelfde schakeling voeden met een wisselspanning. We nemen daarvoor een symmetrische blokspanning.



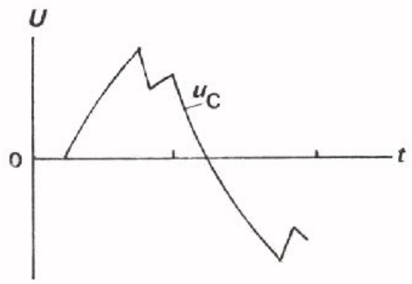


Gedurende de positieve halve periode wordt via R_1 positieve lading aan C toegevoerd.

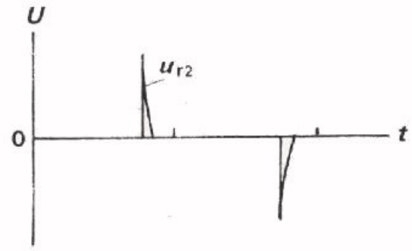


Op het moment dat u_C gelijk wordt aan U_{BO} van de diac slaat deze laatste door en ontstaat er over R_2 een impulsspanning. De condensator-spanning daalt zover, dat de stroom door de diac niet in stand gehouden kan worden; de diac gaat dus weer over naar de niet-geleidende toestand. In de grafiek hiernaast is aangenomen dat er tijdens de eerste halve periode éénmaal ontlading van de condensator optreedt.

In de tweede (negatieve) halve periode wordt de condensator eerst ontladen en vervolgens in tegengestelde richting geladen. Dit geschiedt totdat $-U_{BO}$ bereikt wordt.

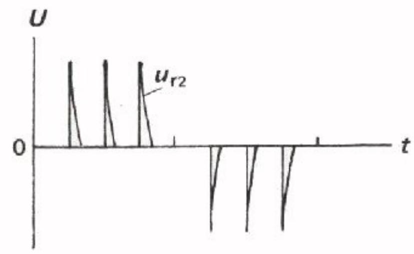


Opnieuw ontstaat er dan een spanningsimpuls over R_2, maar nu een negatieve. Het resultaat is dus nevenstaande spanningsvorm over R_2:



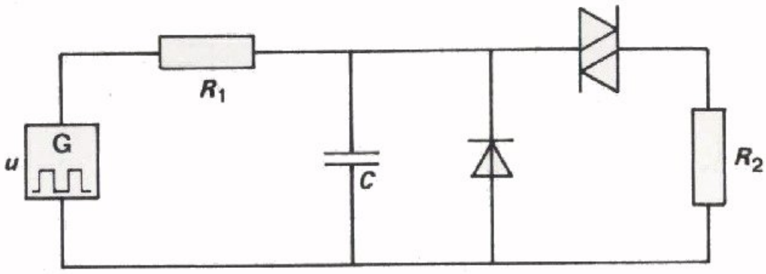
Als men het produkt over R_1C veel kleiner kiest, zal er meermalen per halve periode een impulsspanning optreden.

Door de scherpe vorm worden deze impulsspanningen *naaldvormige* spanningen genoemd.

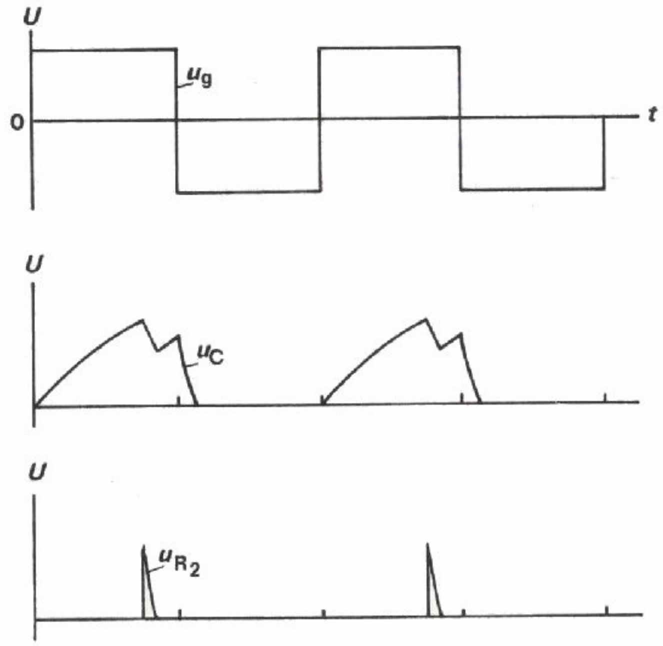


IMPULSGENERATOR MET UITSLUITEND POSITIEVE IMPULSEN

Op het vorige blad is een impulsgenerator behandeld die door een blokvormige wisselspanning wordt gevoed. Over R_2 ontstaan een reeks spanningsimpulsen, beurtelings een of meer positieve en een of meer negatieve. In de praktijk zijn de negatieve impulsen vaak ongewenst. Hoe voorkomt men die negatieve impulsen? Wel, door het aanbrengen van een diode parallel aan de condensator, zoals in volgende schakeling.

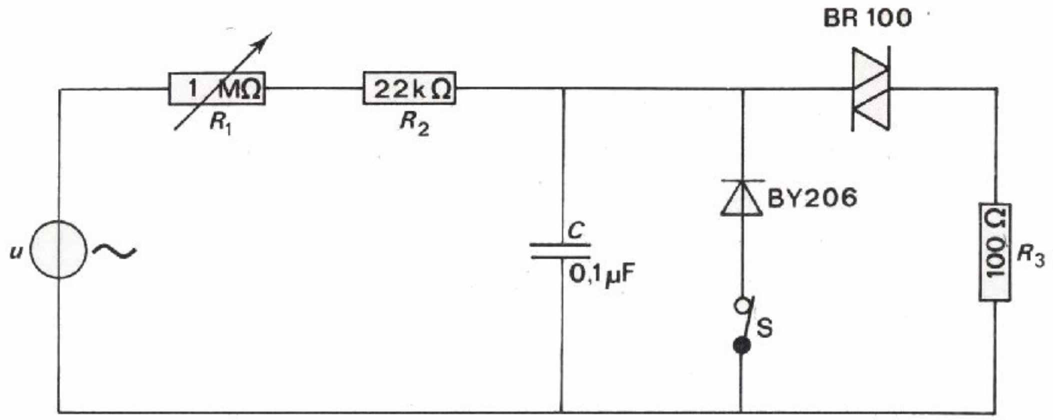


De diode sluit de condensator voor negatieve spanningen nagenoeg kort. De condensator kan daarom in negatieve richting niet worden geladen. In grafieken kunnen we de werking van de schakeling als volgt vastleggen.

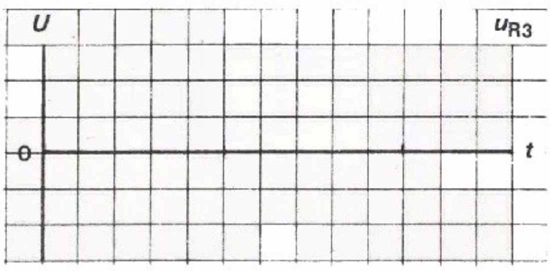


Op dit en het vorig blad zijn we uitgegaan van een blokvormige voedingsspanning. Gebruiken we een sinusvormige voedingsspanning, dan is het resultaat nagenoeg hetzelfde. In de volgende opdracht gaan we dit ervaren.

OPDRACHT: METEN AAN EEN IMPULSGENERATOR GEVOED MET SINUSVORMIGE WISSELSPANNING

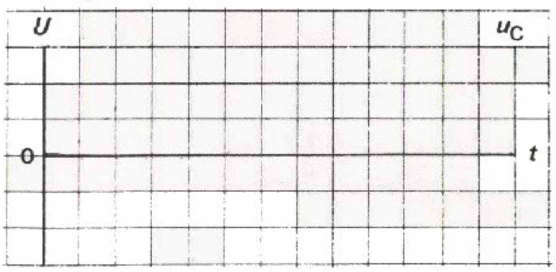


- Bouw deze schakeling op uw paneel.
- Stel de wisselspanningsbron u in op 220 V. Pas op!
  Gebruik voor de bron een variac met gescheiden wikkelingen.
- Stel R_1 op maximale waarde en gesloten schakelaar S.
- Sluit de oscilloscoop aan over R_3. Trigger extern of in de stand "LINE" of "MAINS". Verklein R_1 nu totdat per periode één impuls over R_3 zichtbaar wordt.
- Schets hieronder het verloop van de spanning over R_3.



De topwaarde bedraagt:

- Maak ook de spanning over de condensator zichtbaar en schets het verloop hieronder.

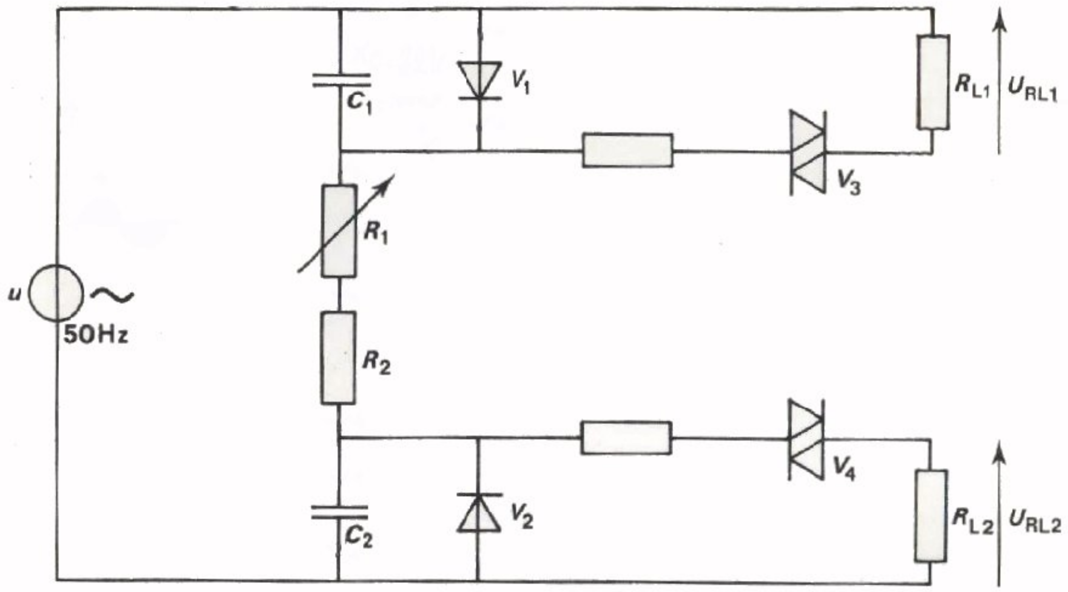


De topwaarde is:

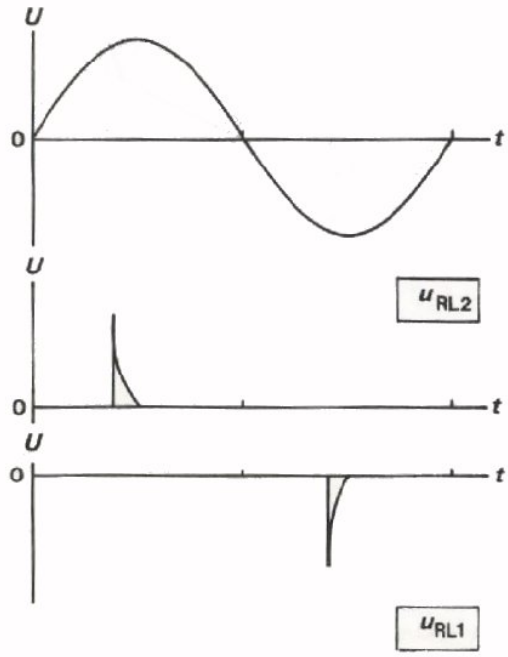
- Maak R_1 minimaal. Bekijk wat hiervan het gevolg is.
- Open S en bekijk u_C en u_{R_3} opnieuw.
- Verklaar wat er gebeurt.

INGEWIKKELDER SCHAKELING MET DIAC'S

Hier ziet u een diac-schakeling voor een zogenaamde "volledige periode regeling", waarmee u in B233 het aan een lamp toegevoerde vermogen gaat regelen.



Met deze schakeling verkrijgt men in één periode van de aangesloten wisselspanning tenminste tweemaal een impuls. Eenmaal een positieve over R_{L2} tijdens de positieve halve periode en eenmaal een negatieve over R_{L1} tijdens de negatieve halve periode.



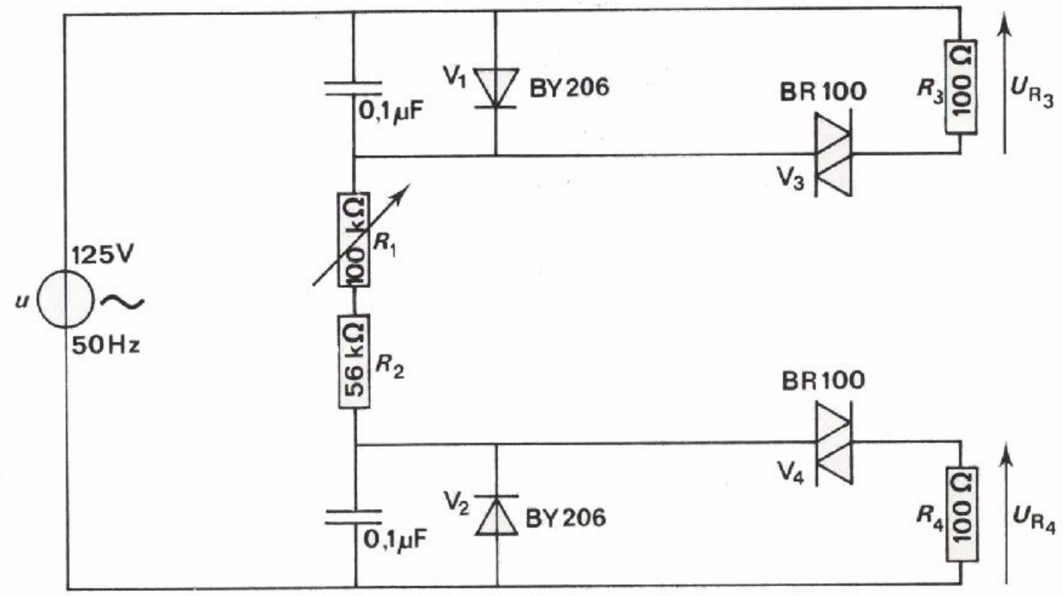
Gedurende de positieve helft van de sinusvormige wisselspanning geleidt de diode V_1 en is V_2 gesperd. C_2 wordt dus geladen tot aan de doorslagspanning van de diac V_4. Dan ontstaat over R_{L2} een positieve impuls.

Is er daarna in de positieve helft nog voldoende tijd over om C_2 opnieuw te laden, dan volgt weer een positieve impuls.

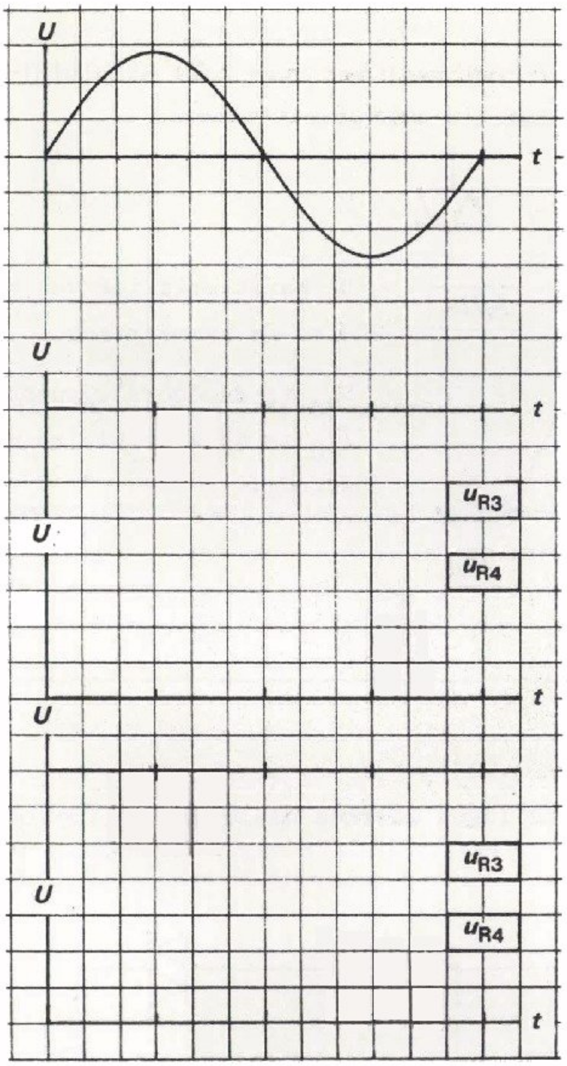
Gedurende de negatieve halve periode van de sinusvormige wisselspanning wordt C_1 opgeladen en ontstaat daarna een negatieve impuls over R_{L1}. Ook nu kan een volgende negatieve impuls ontstaan als de condensator nog ver genoeg kan worden opgeladen.

De condensators C_1 en C_2 worden beurtelings geladen via de weerstanden R_1 en R_2. C_1 en C_2 zijn gelijk, zodat het laden in dezelfde tijd geschiedt. Beide RC-tijden worden geregeld met R_1.

OPDRACHT: METING AAN EEN IMPULSGENERATOR VOOR VOLLEDIGE PERIODE REGELING



- Bouw deze schakeling.
- Maak u zichtbaar op het scherm van de oscilloscoop en trigger deze op "LINE".
  Stel U_t in op 125 V. Gebruik hiervoor een variac met gescheiden wikkelinger
- Stel de verzwakker van de Y-versterker in op 5 V/div.
- Meet daarna met de oscilloscoop u_{R_3} en u_{R_4} met R_1 in maximum stand.
- Meet hetzelfde met R_1 in minimumstand.



Hier ziet u één periode van de ingangsspanning.

Schets hier de impulsspanning over R_3 als R_1 maximaal is.

Schets hier de impulsspanning over R_4 als R_1 maximaal is.

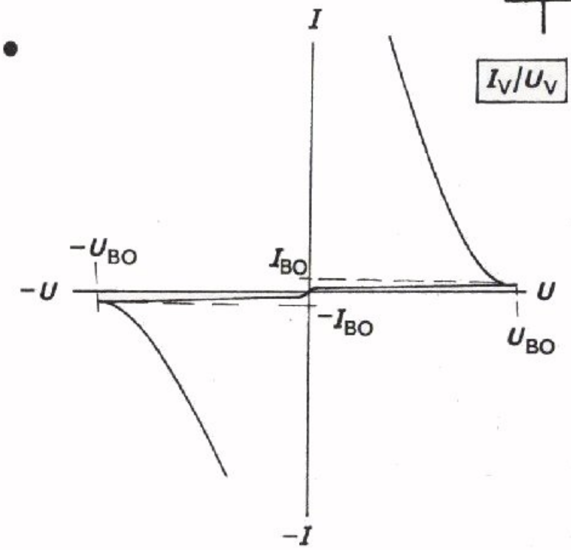
Schets hier de impulsspanning over R_4 als R_1 minimaal is.

Schets hier de impulsspanning over R_3 als R_1 minimaal is.

SAMENVATTING

- Een diac is een halfgeleider-component met twee (*di*) aansluitingen, die toepassing vindt bij het schakelen van wisselstroom.

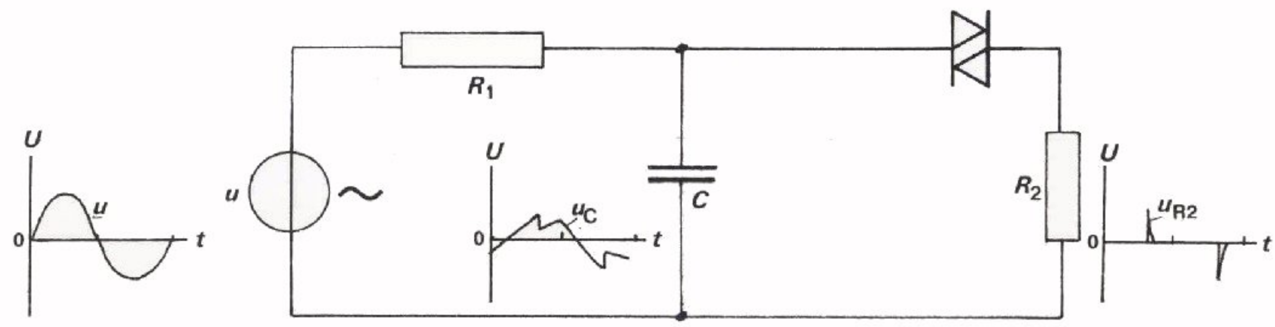
- Dit is het symbool: 

- 

De karakteristiek van een diac is symmetrisch.

U_{BO} is de doorslagspanning.
I_{BO} is de zeer kleine doorslagstroom.

- Diac's gebruikt men in schakelingen waarmee naaldvormige impulsen worden opgewekt.



De voedingsspanning bij zo'n impulsgenerator is meestal een sinusvormige wisselspanning. Over R_2 ontstaan per halve periode één of meer spanningsimpulsen afhankelijk van de periodetijd. Het aantal impulsen hangt af: van de R_1C-tijd, van de grootte van de doorslagspanning U_{BO} van de diac en van de grootte van u.

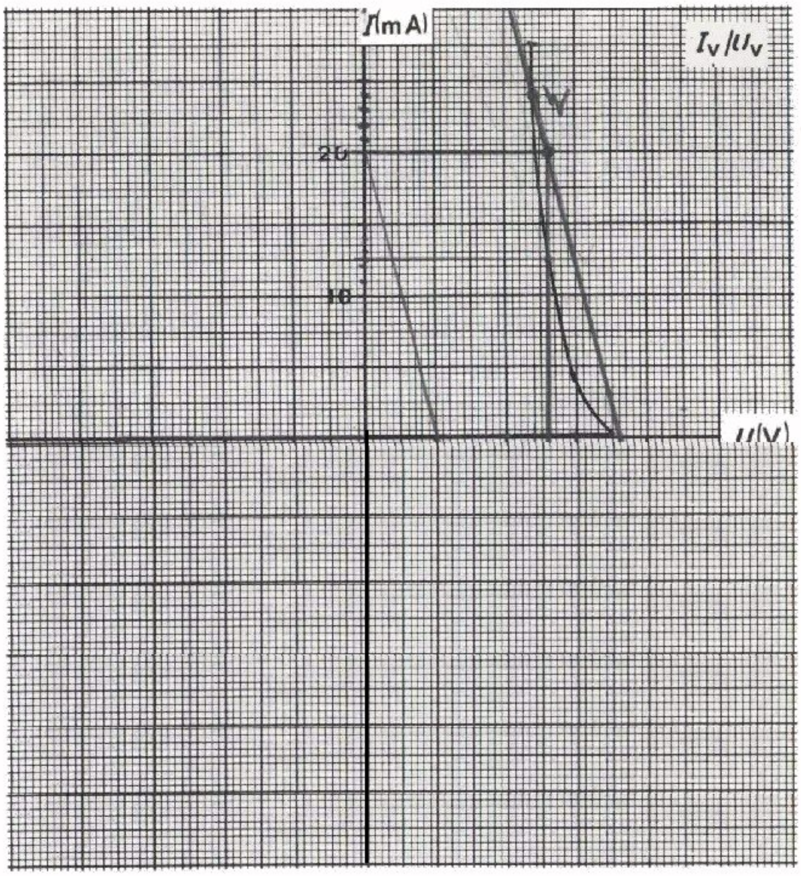
- Door een diode parallel aan de condensator te schakelen, verkrijgt men of positieve- of negatieve impulsen, afhankelijk van de richting van de diode.

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1.



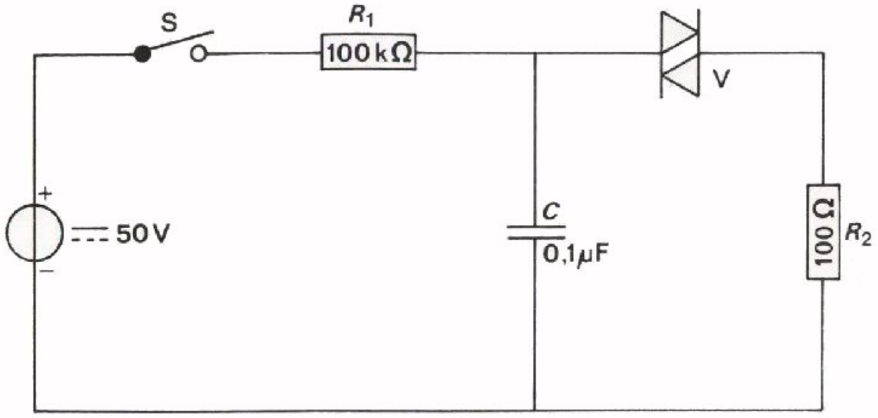
Dit is de karakteristiek van een diac in het eerste kwadrant. Teken het symmetrische deel van de karakteristiek.

2. Teken in bovenstaande grafiek de belastinglijn voor het geval dat deze diac in serie met een weerstand van 500 Ω is aangesloten op een gelijkspanning van 36 V.

   Hoe groot is I_V bij het instelpunt van de diac?

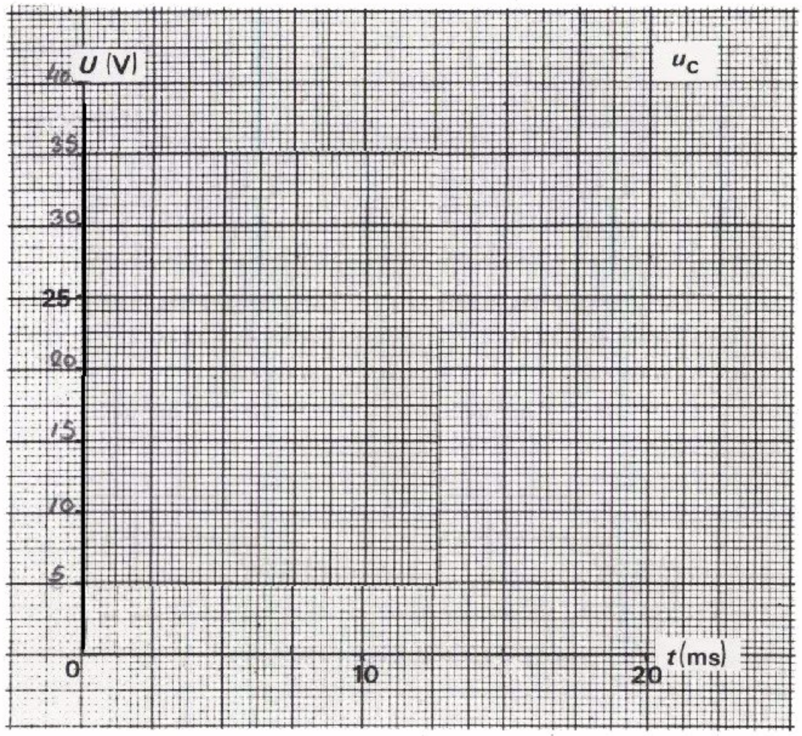
   I_V =

3.



De diac in deze schakeling heeft een doorslagspanning van 31,5 V.

- Schets het verloop van de spanning over de condensator vanaf het moment dat S gesloten wordt.



- Hoe lang na het inschakelen ontstaat de eerste stroomimpuls door de diac?

Na t = [ ] s

B 232

HET REGELEN VAN VERMOGEN

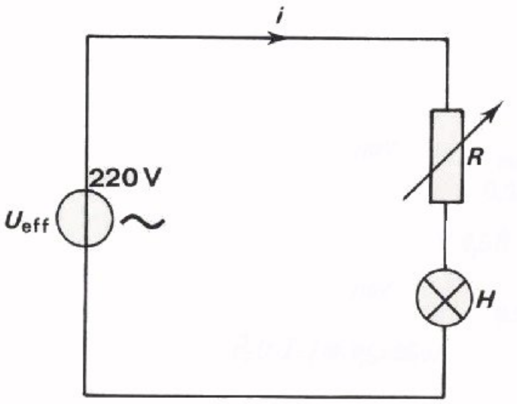
INLEIDING

In de vorige les kwam de component "diac" ter sprake. We komen nu toe aan de *thyristor*. Dit is een component die gebruikt wordt voor het regelen van grote elektrische vermogens. Voordat we de thyristor behandelen, moeten we eerst vrij uitvoerig ingaan op vermogensregelingen in het algemeen. Daaraan is deze les dan ook voor een belangrijk deel gewijd.
Aan het eind van deze les zullen we zien hoe we een thyristor kunnen gebruiken om het vermogen te regelen dat aan een lamp wordt toegevoerd. Daarbij maken we weer gebruik van de diac die we in de vorige les behandelden.

REGELING VAN VERMOGEN

Een thyristor is een component die vooral toepassing vindt bij regeling van vermogen, bijvoorbeeld bij de zaalverlichting in een bioscoop. Zo'n regeling wil zeggen, dat er meer of minder vermogen aan een installatie of apparaat wordt toegevoerd. Om het principe van vermogensregeling door middel van thyristors in te zien, behandelen we eerst de meer bekende manieren van regeling.

- Regeling met behulp van een weerstand.



In deze schakeling is een lamp in serie met een regelbare weerstand aangesloten op een spanningsbron. Men kan de lichtsterkte van de lamp regelen door er meer of minder vermogen aan toe te voeren. Men doet dit door de weerstand R te verkleinen, respectievelijk te vergroten.

Bij vergroting van R komt er minder spanning over de lamp te staan en er wordt dus ook minder vermogen toegevoerd.

Voorbeeld:

Stel: $R = 0\ \Omega$, $U_{eff} = 220$ V en $I_{eff} = 1$A

Aan de lamp wordt toegevoerd: 220 W.

De weerstand van de lamp is 220 Ω.

Maak nu $R = 220\ \Omega$.

Bij $U_{eff} = 220$ V wordt nu aan de lamp toegevoerd: 55 W.

Ga dit na.

Een nadeel van deze regeling is, dat ook aan de weerstand vermogen wordt toegevoerd; in ons voorbeeld juist even veel als aan de lamp. Men kan zelfs spreken van energieverlies omdat het niet de bedoeling is om de weerstand te verhitten; we moeten dit als nadeel accepteren.

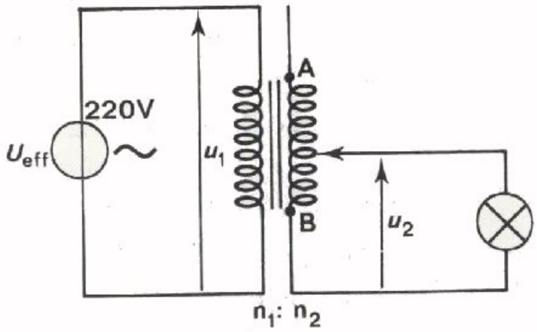
Een snelle en eenvoudige manier om dit aan te geven is met behulp van het begrip *rendement*.

Het rendement is de verhouding tussen het afgeleverde vermogen en het toegevoerde vermogen. In bovenstaande voorbeeld van een regeling met een weerstand is het rendement 50%. Ga dit na.

We geven het rendement aan met de griekse letter (etta) η, dus voor bovenstaande regeling geldt:

$\eta = 50\%$

● Regeling met behulp van een variac.



Een variac is een transformator, waarvan de transformatieverhouding door middel van een verplaatsbare aftakking op de secundaire wikkeling wordt gewijzigd. De uitgangsspanning:

$$u_2 = \frac{n_2}{n_1} u_1$$

kan men door verplaatsing van het glijcontact op de secundaire wikkeling gelijkmatig regelen.

Voorbeeld:
Bevindt het glijcontact zich in stand A, dan brandt de lamp op 220 V, als $n_1 = n_2$. Plaatsen we het contact midden tussen A en B in, dan brandt de lamp op 110 V. In deze stand wordt een kwart van het oorspronkelijke vermogen toegevoerd.

De vermogensregeling geeft in de variac veel minder energieverlies dan in de weerstand van het vorige voorbeeld; deze regeling heeft dus een hoog rendement. Een variac is echter een vrij kostbaar apparaat en heeft bovendien nogal grote afmetingen.

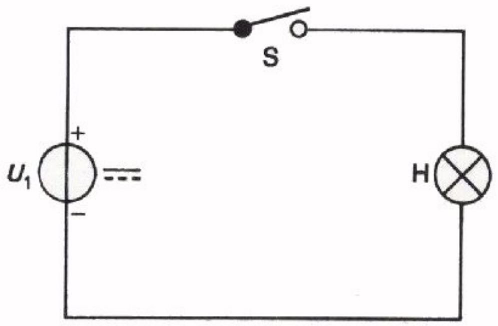
De twee besproken regelingen hebben elk hun eigen bezwaren. Een regeling met behulp van thyristors geschiedt op een geheel andere manier en heeft deze bezwaren niet. Thyristorregelingen zijn zogenaamde *tijdsregelingen*, die we nu gaan bekijken.

OPMERKING:

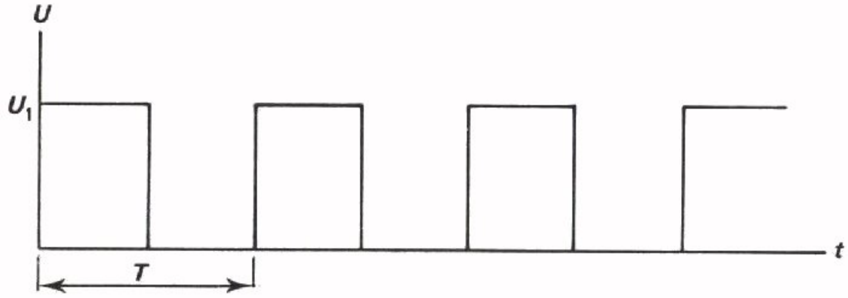
De meest toegepaste variac is niet de in dit voorbeeld gebruikte variac met gescheiden primaire- en secundaire wikkeling, maar de auto-transformator uitvoering.

TIJDSREGELING VAN EEN GELIJKSPANNING

Bij de twee voorafgaande voorbeelden vindt de regeling van het toegevoerde vermogen plaats door de *grootte* van de spanning te variëren. Er is ook een geheel andere manier van regelen mogelijk. Daarbij wordt niet de grootte van de spanning geregeld, maar de *tijd* gedurende welke er telkens spanning wordt toegevoerd. We geven een eenvoudig voorbeeld.



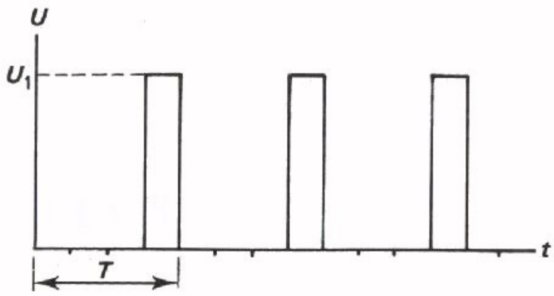
Openen en sluiten we voortdurend de schakelaar S, dan voeren we afwisselend wel of niet vermogen aan de lamp toe. De lamp gaat aan en uit in het ritme waarmee we schakelen. Wordt de schakelaar zeer snel bediend, dan ziet ons oog het aan en uit gaan van de lamp niet meer.
Het verloopt van de spanning over de lamp ziet er in een grafiek bijvoorbeeld als volgt uit:



De schakelaar is dan telkens even lang open als dicht. Gemiddeld is de spanning $\frac{1}{2}\ U_1$. Gedurende de tijd $\frac{1}{2}\ T$ wordt energie van de lamp toegevoerd en wel $W = U.I.\frac{1}{2}.T$. Het gemiddelde vermogen over een periode bedraagt dan $P_{GEM} = \frac{1}{2}.U.I.$

OEFENING

Hoe groot is het gemiddeld geleverd vermogen per periode als de schakelaar 3 maal zo lang open als dicht is?

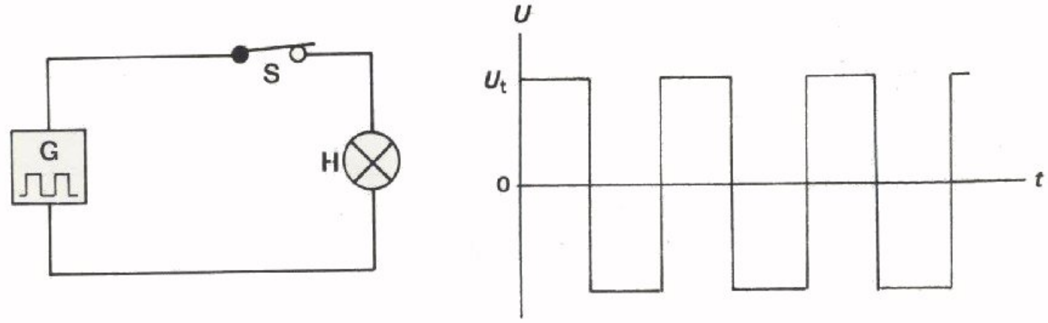


$W =$ [ ] $U_1.I$

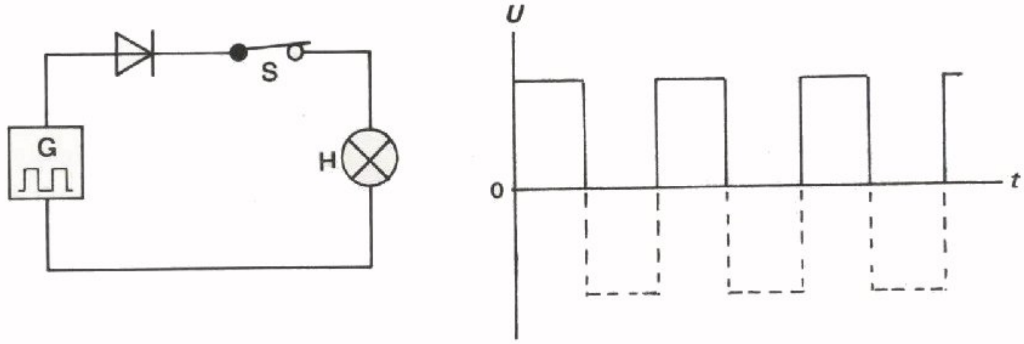
$P_{GEM} =$ [ ] $U_1.I$

TIJDSREGELING MET EEN BLOKSPANNING

Laten we nu het geval eens bekijken dat we aan een gloeilamp wisselstroomvermogen toevoeren. We nemen als voedingsspanning een blokspanning en gaan bekijken hoe men nu tijdsregeling kan toepassen.

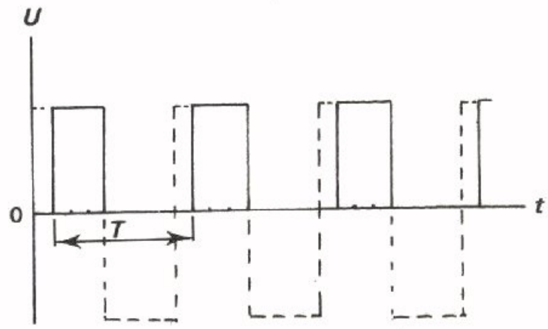


Houden we in dit geval S steeds gesloten, dan wordt bovenstaande symmetrische blokspanning aan de lamp toegevoerd. De lamp neemt nu evenveel energie op als in het geval dat de lamp is aangesloten op een gelijkspanning met eenzelfde waarde U_t. Ga dit na! Nemen we nu ook nog een diode in de schakeling op, dan wordt bij gesloten schakelaar S alleen het positieve deel van de spanning gebruikt. Ga na dat het gemiddelde vermogen nu gehalveerd is.



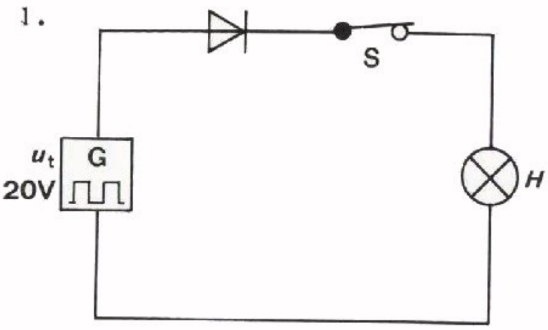
Door nu telkens op een listige wijze gedurende een deel van de positieve halve periode de schakelaar S te openen, wordt het vermogen dat aan de lamp wordt geleverd nóg kleiner. Door de impulstijd te veranderen, kan men het vermogen dus regelen. In het volgende voorbeeld openen we de schakelaar gedurende $\frac{1}{4}$ van de positieve helft; de negatieve helft is door een diode geblokkeerd.

Het gemiddelde vermogen neemt daardoor 25% af t.o.v. de volle halve periode en dus ook het aan de lamp toegevoerde vermogen. Ga dit na!

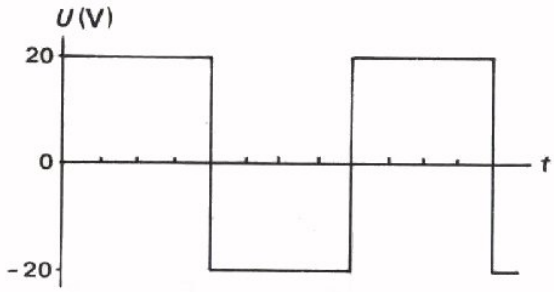


OEFENINGEN

1.

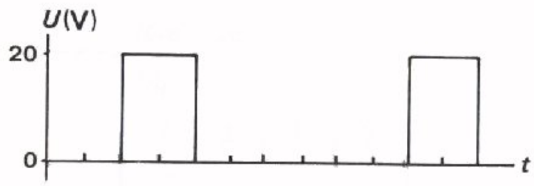


De lamp H wordt in deze schakeling in serie met een diode en een schakelaar op een symmetrische blokspanning aangesloten. De blokspanning heeft een topwaarde U_t = 20 V.
Bereken het gemiddelde vermogen als S steeds gesloten is.
De weerstand van de lamp is 20 Ω.



P_{gem} =

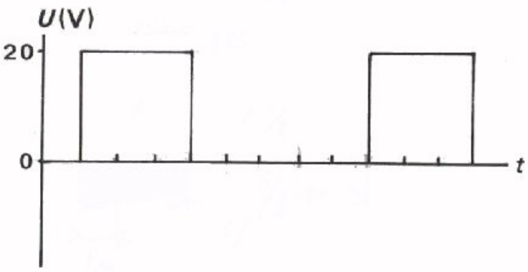
2.



Dezelfde vraag als de schakelaar gesloten is gedurende de tijd die in de nevenstaande grafiek is aangegeven.

P_{gem} =

3.

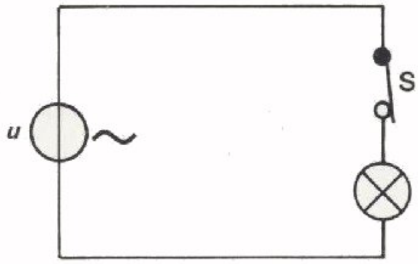


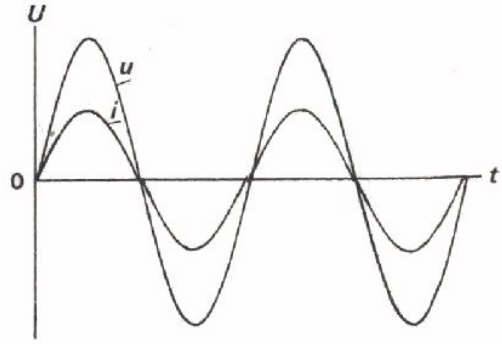
Nogmaals dezelfde vraag met weer een iets andere tijdsduur voor de gesloten schakelaar.

P_{gem} =

TIJDSREGELING VAN EEN SINUSVORMIGE WISSELSPANNING

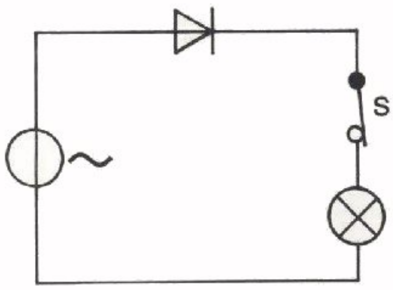
Op het vorig blad zagen we hoe we tijdsregeling konden toepassen op een blokspanning. In de praktijk regelt men echter altijd sinusvormige wisselstroomvermogens. In principe gaat dit op dezelfde manier.

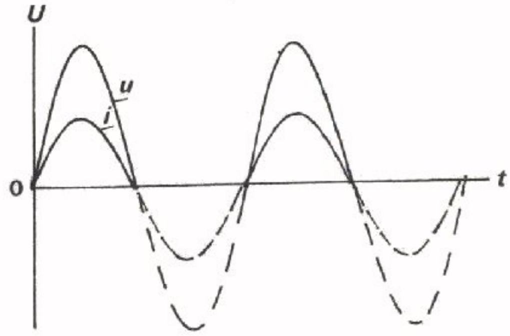




Bij gesloten schakelaar levert de sinusvormige wisselspanning een gemiddeld vermogen: $P_1 = U_{eff} \cdot I_{eff}$.

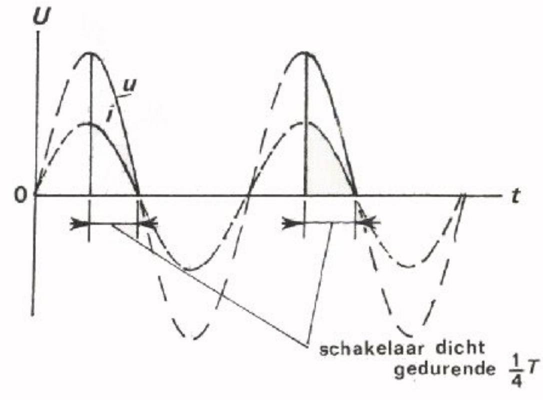
Wordt een diode opgenomen, dan verdwijnen de negatieve "sinushelften". Er wordt dan maar het halve vermogen toegevoerd: $P_2 = \frac{1}{2} P_1$.





Het vermogen kunnen we nu verder regelen door S gedurende een deel van de positieve periode helften te openen. Doen we dit bijvoorbeeld telkens gedurende de eerste kwart periode, dan is het toegevoerde vermogen:

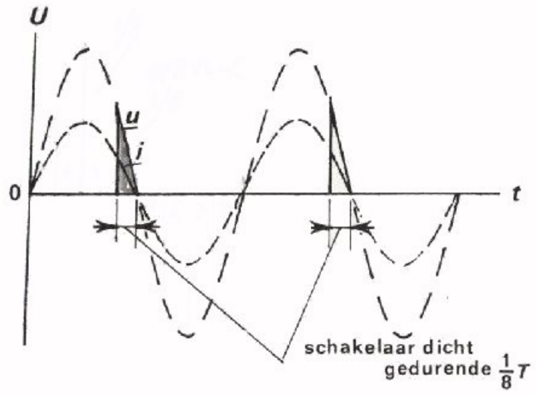
$P_3 = \frac{1}{4} P_1$.



VRAAG

Het aan de lamp toegevoerde vermogen is in dit geval

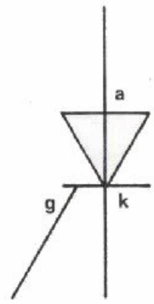
< 1/8 P_1	O
1/8 P_1	O
> 1/8 P_1	O



DE THYRISTOR

Op de voorgaande bladen hebben we tijdsregeling van vermogen besproken. We openden en sloten daarbij telkens in gedachten een schakelaar. We lieten ons er niet over uit hoe we dat deden, maar het zal wel duidelijk zijn dat dit bij een frequentie van 50 Hz onmogelijk met de hand kan geschieden. Hiervoor gebruiken we een *thyristor.* Dit is een halfgeleidercomponent, die uit vier of meer lagen P- en N-materiaal bestaat.
In de volgende les gaan we nader op de thyristor in. Nu zeggen we er alleen van dat het een component is die in zijn werking lijkt op de serieschakeling van een halfgeleiderdiode en een schakelaar. Bij de thyristor wordt de schakelaar elektronisch bediend, b.v. met impulsen geleverd door een diac.

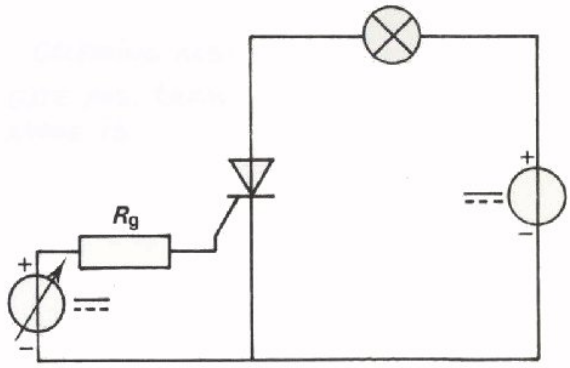
Het schemasymbool van een thyristor ziet u hier.



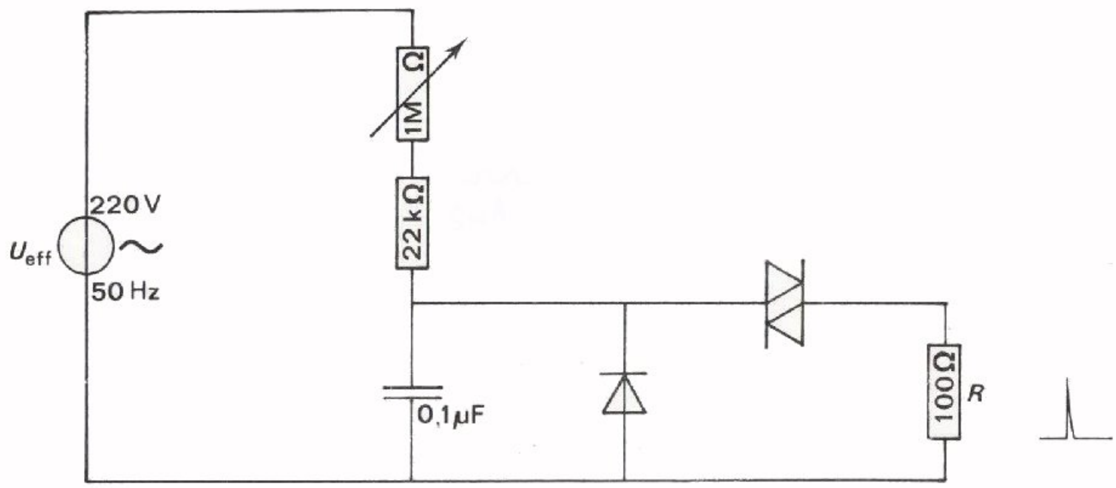
U herkent het symbool van de halfgeleiderdiode met daarop een extra elektrode *g*. Deze laatste draagt de naam: *gate*, (spreek uit: "geet").

Aan de gate wordt een stroompje toegevoerd. Als de stroom groot genoeg is, gaat de thyristor plotseling geleiden. In een schakeling zoals hier is afgebeeld, betekent dit dat de lamp op dat moment gaat branden.

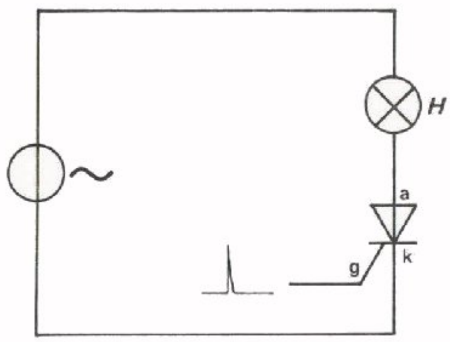
Alvorens hier verder op in te gaan, zullen we nu eerst een schakeling met een thyristor behandelen.



REGELING VAN VERMOGEN DOOR MIDDEL VAN EEN THYRISTOR



In de vorige les is deze schakeling behandeld. Met behulp van een diac werden door de weerstand van 100 Ω stroomimpulsen verkregen. Het moment waarop zo'n impuls ontstaat kan geregeld worden door middel van de potentiometer van 1 MΩ. Met behulp van deze schakeling gaan we nu een thyristor sturen.

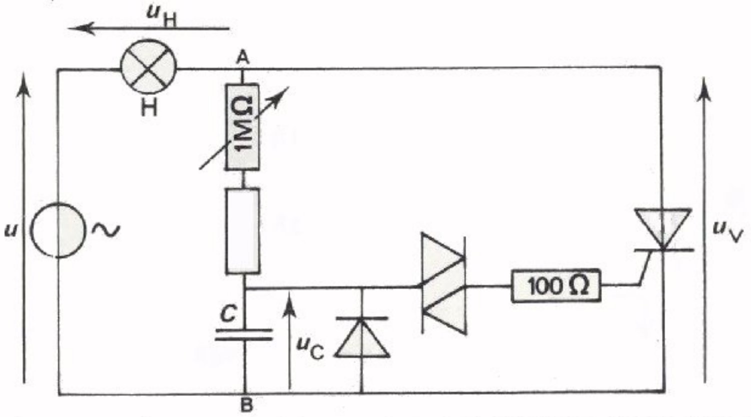


Dit is het principeschema van een schakeling waarmee het vermogen dat aan een lamp wordt toegevoerd, kan worden geregeld. De lamp is in serie met een thyristor aangesloten op een sinusvormige wisselspanning. Gedurende de negatieve periodehelften van de sinusvormige spanning kan er geen stroom door de lamp lopen; de thyristor is dan immers een gesperde diode.

Gedurende de positieve helften van de sinusvormige spanning loopt er ook geen stroom door de thyristor, tenzij de gate even geleidend wordt gemaakt. De benodigde stuurimpuls is dan afkomstig van boven besproken diac-schakeling. Als de spanning tussen anode en kathode nul wordt, dus aan het eind van elke periodehelft, raakt de thyristor gesperd. Het resultaat is dus dat de lamp telkens gedurende een deel van de positieve periodehelft brandt. Het moment op de positieve periodehelft waarop de thyristor geleidend wordt kan men instellen met behulp van de potmeter van 1 MΩ van de diac-schakeling. Daarmee regelt men dus de tijd gedurende welke de lamp stroom voert en dus ook de aan de lamp toegevoerde hoeveelheid energie.

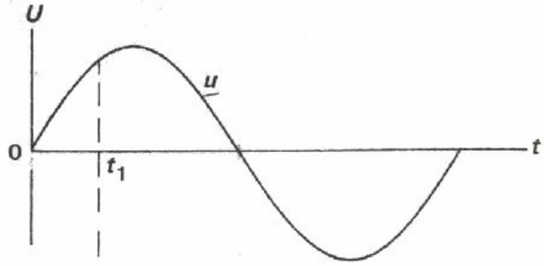
OPMERKING:

Het rendement van een thyristorregeling is hoog; er treedt namelijk weinig energieverlies op in de thyristor. Dit komt omdat de spanning over de thyristor zo klein is als de thyristor stroom voert; zolang de thyristor stroomloos is, treedt uiteraard ook geen vermogensverlies op.

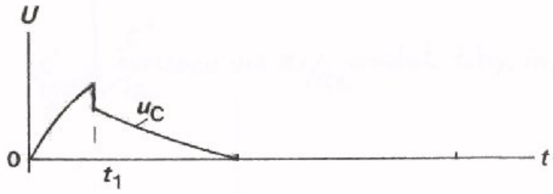


Hierboven het complete schema van een schakeling voor het regelen van het vermogen dat aan de lamp *H* wordt toegevoerd.

Dit is een periode van de sinusvormige wisselspanning.



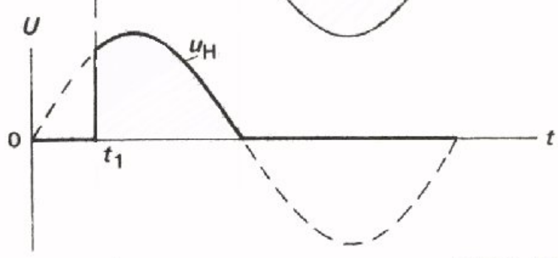
Dit is de spanning over de condensator *C*. Op het moment t_1 wordt de doorslagspanning van de diac bereikt. Er ontstaat een stroomimpuls op de gate van de thyristor.
Zodra de thyristor geleidt is de spanning $U_V \approx 0$, zodat *C* niet opnieuw geladen wordt. (Dit is de reden waarom de lamp links van A zit).



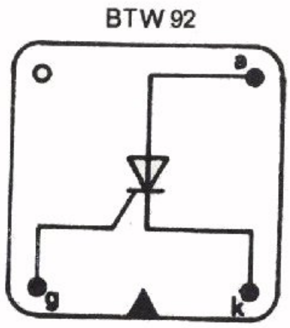
Vanaf dit moment t_1 gaat de thyristor geleiden. De spanning over de thyristor U_V verloopt als volgt:



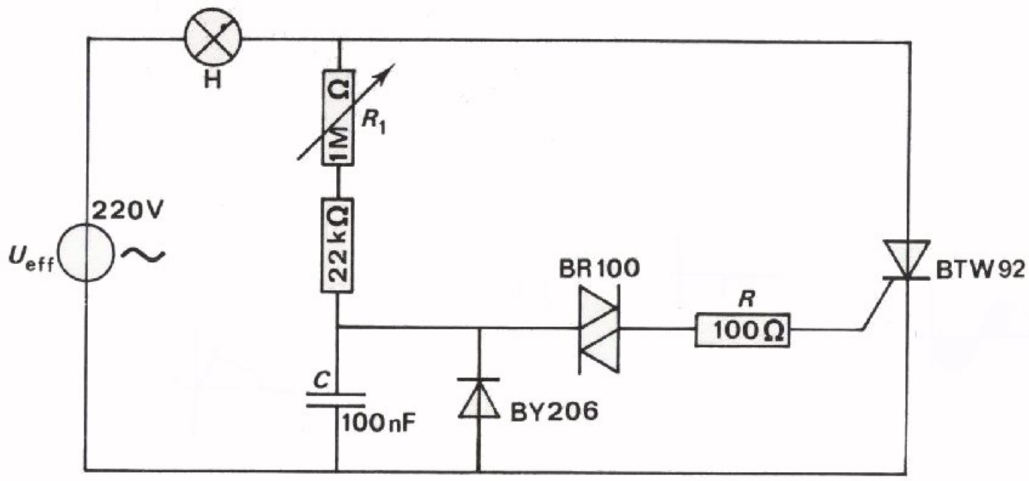
De spanning over de lamp *H* heeft dus nevenstaande vorm.



Door met R = 1 MΩ het moment t_1 te verleggen, wordt het vermogen dat aan de lamp wordt toegevoerd, geregeld. In de volgende opdracht gaan we dit bestuderen.



OPDRACHT: METEN AAN EEN THYRISTOR GESTUURDE VERMOGENSREGELING



- Bouw deze schakeling. Pas op voor de netspanning.

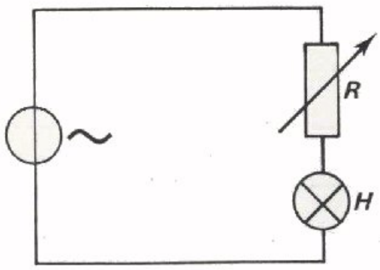
  Gebruik zo mogelijk een variac met gescheiden wikkelingen.

- Regel het vermogen dat aan de lamp wordt geleverd door middel van R_1 en let op de lamp.

- Stel de lamp in op ongeveer halve helderheid, sluit een kabel met verzwakkerkop 1 : 10 aan op de scoop en bekijk de spanning over de condensator C, over R = 100 Ω, over de thyristor en over de lamp. Ga na of u de beelden op het scherm geheel kunt verklaren.

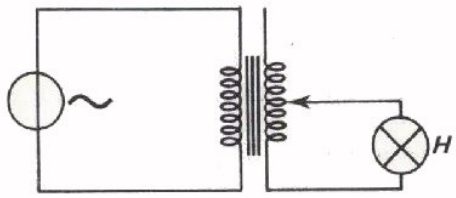
SAMENVATTING

Er zijn verschillende manieren om het vermogen te regelen dat aan een belasting, bijvoorbeeld een lamp, wordt toegevoerd.



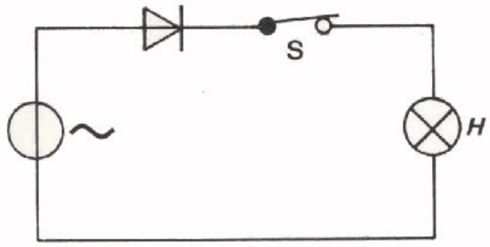
Een regelbare weerstand in serie met een lamp is een van de mogelijkheden.

Het grote bezwaar van deze regeling is dat ook de weerstand veel vermogen opneemt.



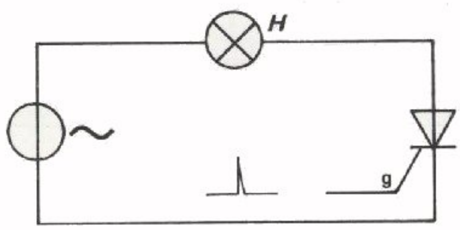
Ook met een regelbare transformator is regeling van het geleverde vermogen mogelijk.

De variac die hiervoor nodig is, is niet goedkoop.

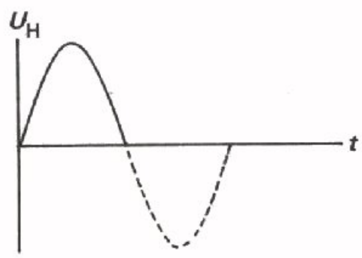


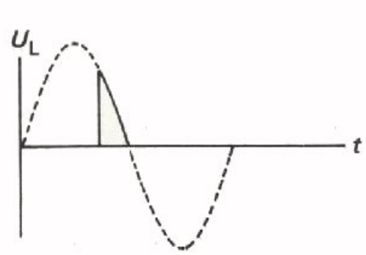
Een andere mogelijkheid om het vermogen te regelen is die van de serieschakeling van een schakelaar en een diode.

In de praktijk is dit dan een elektronische schakelaar die bij de diode is ingebouwd.



De thyristor waarmee in deze les het aan een lamp toegevoerde vermogen wordt geregeld, is voor te stellen als een diode met elektronische schakelaar. De schakelaar wordt bediend door aan de gate een stroomimpuls toe te voeren.





Met behulp van de thyristor kan de spanning U_H over de lamp worden geregeld en daarmee het toegevoerde vermogen. Het vermogen kan over de positieve halve periode gevarieerd worden van

$$0 \text{ tot } \tfrac{1}{2} P,$$

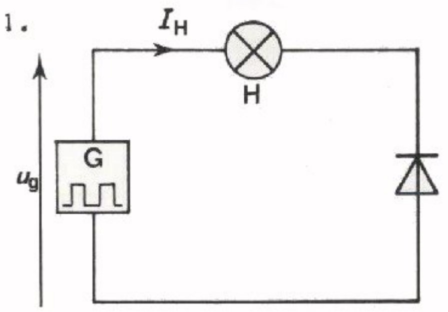
als P het vermogen is dat de lamp opneemt als hij direct op het lichtnet is aangesloten.

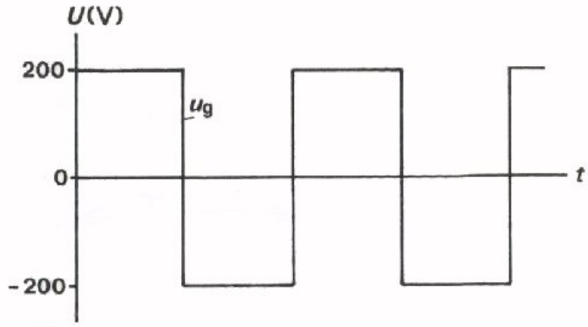
NAAM:

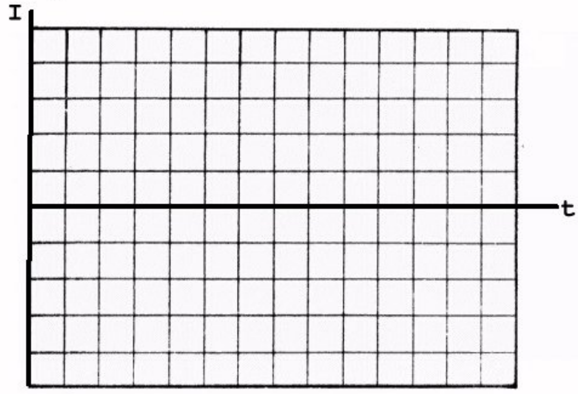
KLAS:

OEFENINGEN

1.





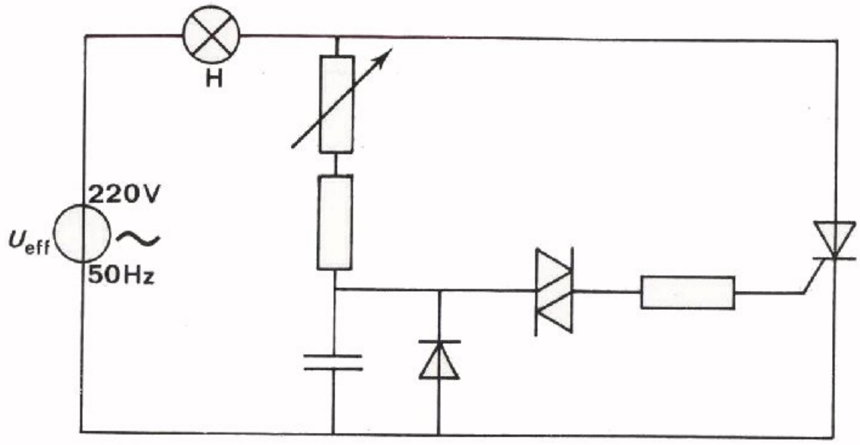


Op een serieschakeling van een gloeilamp en een diode staat de getekende blokspanning.

Schets hiernaast het verloop van de stroom door de lamp.
De weerstand van de lamp is 100 Ω.

Hoe groot is het vermogen dat gemiddeld aan de lamp wordt afgegeven? P_{GEM} =

2.



De gloeilamp in deze schakeling is een lamp van 220 V - 60 W. Hoe groot is het gemiddeld aan de lamp toegevoerde vermogen als u_C 5 ms na het begin van een positieve periodehelft gelijk wordt aan U_{BO} van de diac.

P_{GEM} =

B 233

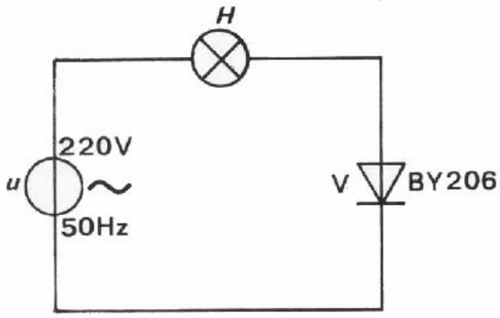
D E   T H Y R I S T O R   E N   D E   T R I A C

INLEIDING

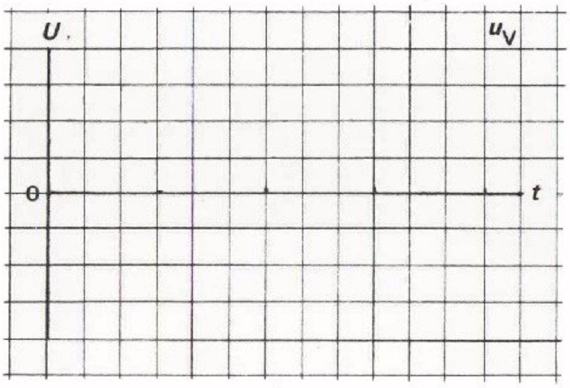
In de voorafgaande les is de thyristor terloops al ter sprake geweest als component waarmee men vermogen kan regelen. In deze les gaan we wat dieper in op de thyristor als "gestuurde diode". De karakteristiek van thyristor komt o.a. aan de orde en we gaan nader bekijken hoe regeling van vermogen door middel van thyristoren geschiedt. Aan het eind van deze les behandelen we tenslotte een nieuwe component, "de triac".

OPDRACHT: VERGELIJKING VAN DIODE EN THYRISTOR

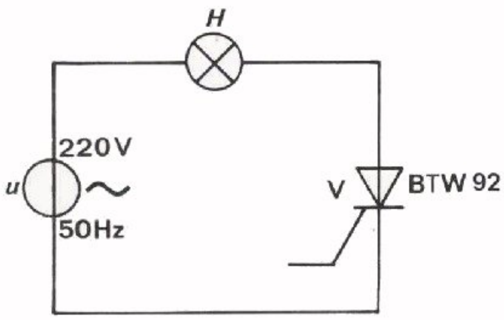
Om de thyristor met de halfgeleiderdiode te vergelijken gaan we twee schakelingen bouwen. Gebruik met de nu volgende opdrachten een variac met gescheiden wikkeling.



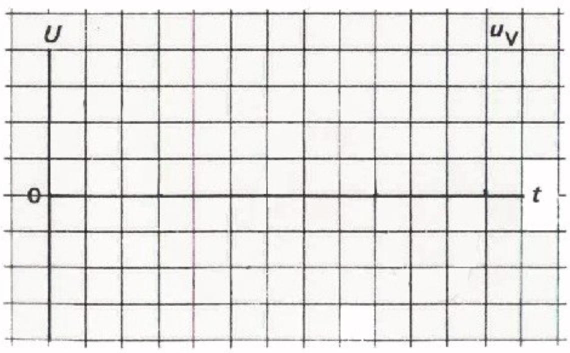
- Bouw deze schakeling met de halfgeleiderdiode op uw paneel.
- Voer U_{eff} = 220 V - 50 Hz toe. Gebruik een variac met gescheiden wikkelingen.



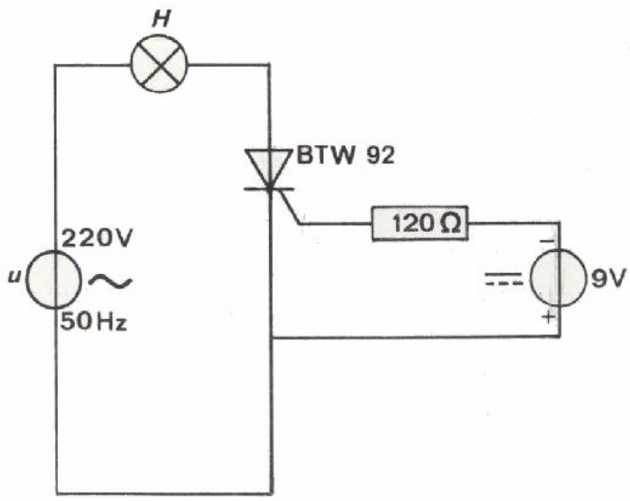
- Maak op het scherm van de oscilloscoop de spanning U_V over de diode zichtbaar.
- Schets de spanning over de diode in nevenstaande grafiek.



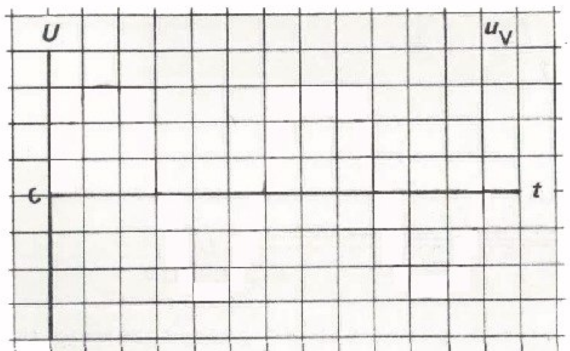
- Vervang de diode nu door een thyristor. Sluit de gate hierbij niet aan..



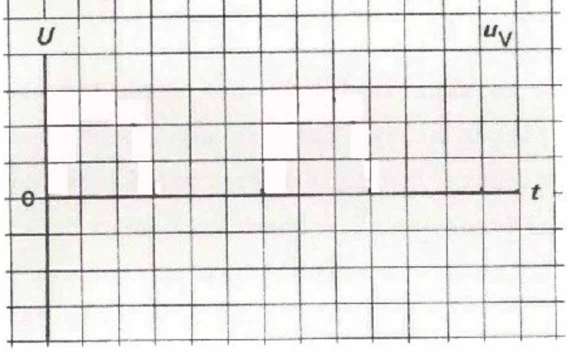
- Bekijk de spanning over de thyristor op de oscilloscoop en schetst het verloop hiernaast.



- Sluit vervolgens tussen gate en kathode een gelijkspanningsbron aan in serie met een begrenzingsweerstand van 120 Ω. Maak de gate negatief ten opzichte van de kathode.



- Bekijk de spanning over de thyristor en schets deze hiernaast.



- Verwissel de polariteit van de gelijkspanningsbron. De gate wordt nu positief ten opzichte van de kathode.
- Bekijk de spanning over de thyristor en schets deze in de grafiek hiernaast.
- Vergelijk deze grafiek met die van de halfgeleiderdiode op het vorige blad.
- Maak de gelijkspanning vervolgens geleidelijk aan kleiner dan 9 V en kijk wat er gebeurt.

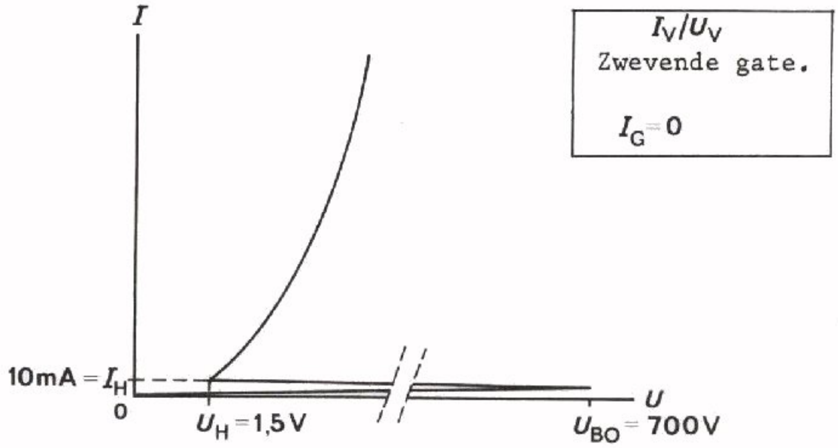
CONCLUSIE

Het gedrag van een thyristor is hetzelfde als van een gewone halfgeleiderdiode, als tussen gate en kathode een positieve spanning van voldoende grootte is aangesloten.

Door middel van een spanning op de gate kan men het gedrag van een thyristor beïnvloeden. Men zegt dat men hem kan *sturen* en men noemt een thyristor daarom ook wel een *gestuurde diode.*

DE KARAKTERISTIEK VAN DE THYRISTOR

Bij de voorafgaande opdracht werd reeds duidelijk dat een thyristor overeenkomst vertoont met een halfgeleiderdiode. Tevens zagen we dat er ook een verschil is, want de thyristor gaat pas werken als er een positieve spanning van voldoende grootte op de gate wordt aangesloten.
Het gedrag van een component is het beste te zien aan zijn karakteristiek. We geven daarom de karakteristiek van een thyristor.



Deze karakteristiek geldt voor het geval dat er geen spanning op de gate is aangesloten. Men spreekt van *zwevende gate*. Er loopt geen gatestroom; de karakteristiek geldt voor $I_G = 0$.

Het meest opvallende aan deze karakteristiek is het deel dat vlak bij de horizontale as ligt. Uit de figuur blijkt dat tot een spanning van 700 V de stroom door de thyristor slechts langzaam toeneemt. Nà het bereiken van de doorslagspanning U_{BO} ("Break Over" = doorslag) wordt de karakteristiek geheel anders en gaat lijken op de karakteristiek van een gewone halfgeleiderdiode. De thyristor gaat nu plotseling goed geleiden. De stroom I_H waarbij de thyristor nog goed blijft geleiden noemt men de *houdstroom*. Wordt de stroom door de thyristor kleiner dan I_H, dan schakelt de thyristor zichzelf uit. Bij I_H behoort een *houdspanning* U_H. Dit is dus de spanning die aanwezig moet zijn om de thyristor nog juist in geleidende toestand te houden.

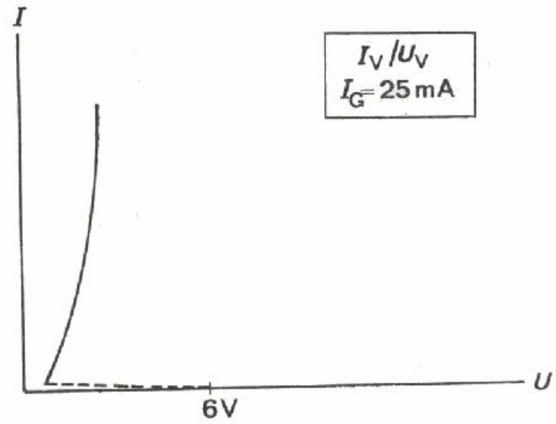
VRAAG:

Hoe groot is de houdstroom bij bovenstaande thyristorkarakteristiek?

I_H =

En hoe groot is de houdspanning? U_H =

De karakteristiek die we behandelden gold voor gatestroom I_G = 0. We vragen ons vervolgens af hoe de thyristorkarakteristiek eruit ziet als de gate niet zwevend is, maar van een bepaalde spanning is voorzien. Hieronder ziet u een voorbeeld:



Hier is een zodanige gatespanning aangebracht, dat de gatestroom I_G = 25 mA. We zien dat de doorslagspanning nu veel lager ligt; namelijk bij U_V = 6 V, terwijl dit punt bij zwevende gate bij 700 V lag. Als de gatestroom I_G toeneemt, neemt de doorslagspanning U_{BO} af.

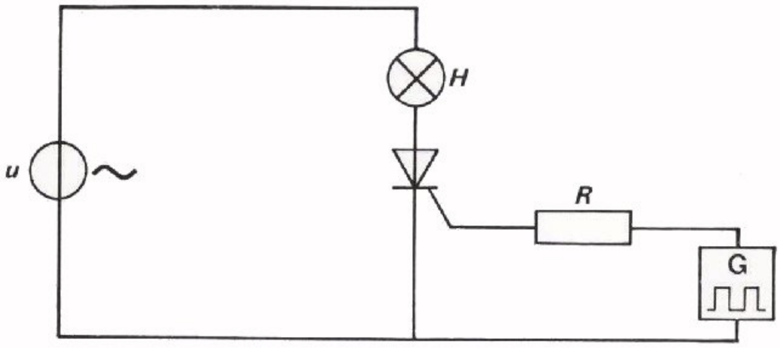
Het is gebruikelijk om de gate*stroom* bij deze karakteristieken op te geven. De fabrikant geeft de waarden van I_G en U_{BO} die zeker groot genoeg zijn om de thyristor geleidend te maken.

Uit de karakteristiek blijkt dat de thyristor, als hij eenmaal in geleiding gebracht is, blijft geleiden zo lang de stroom groter is dan de houdstroom.

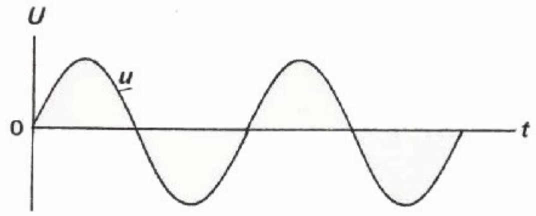
In de praktijk is een kortstondige stroomimpuls op de gate voldoende om de thyristor in geleiding te brengen. Die stroomimpulsen moeten dan van voldoende grootte zijn, b.v. 25 mA. In de voorafgaande les hebben we dergelijke impulsen met behulp van een diac aan een thyristor toegevoerd.

REGELING VAN VERMOGEN MET BEHULP VAN EEN THYRISTOR

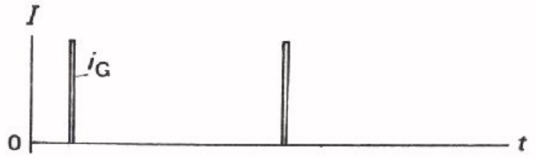
Nu we de karakteristiek van de thyristor hebben behandeld, kunnen we wat precieser gaan bekijken hoe de tijdsregeling van het vermogen door middel van een thyristor tot stand komt. Hier ziet u nogmaals het schema van een gloeilamp in serie met een thyristor op een sinusvormige wisselspanningsbron.



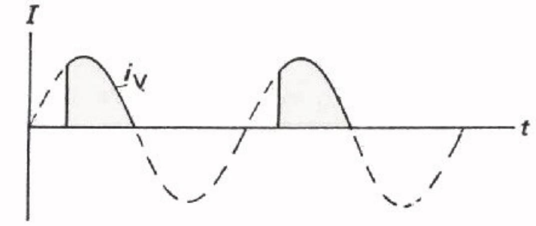
Gemakshalve nemen we aan dat een afzonderlijke generator impulsen aan de gate van de thyristor toevoert.



Dit zijn twee perioden van de sinusvormige wisselspanning.



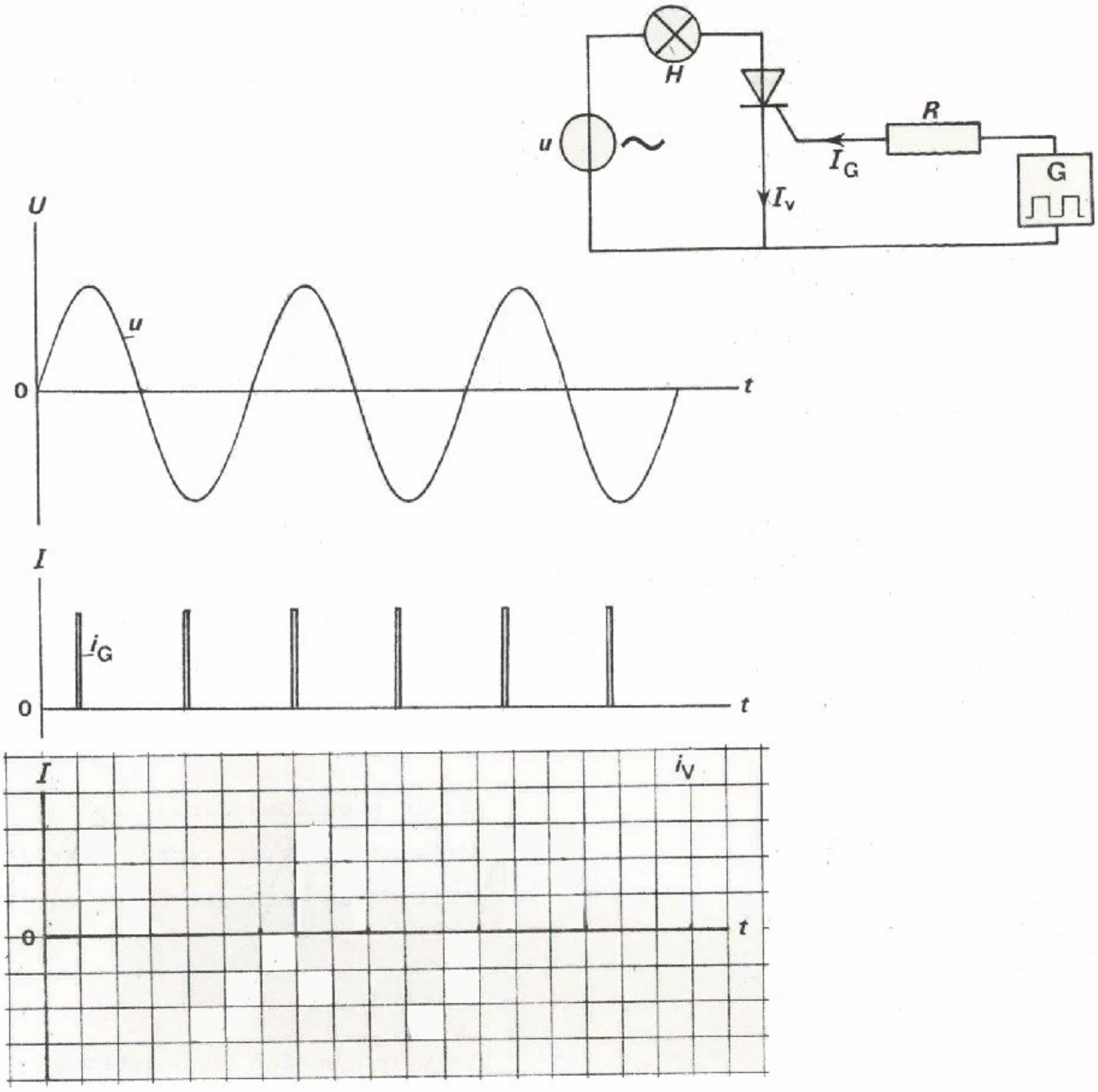
Dit is een grafische voorstelling van de stroomimpulsen die aan de gate worden toegevoerd.



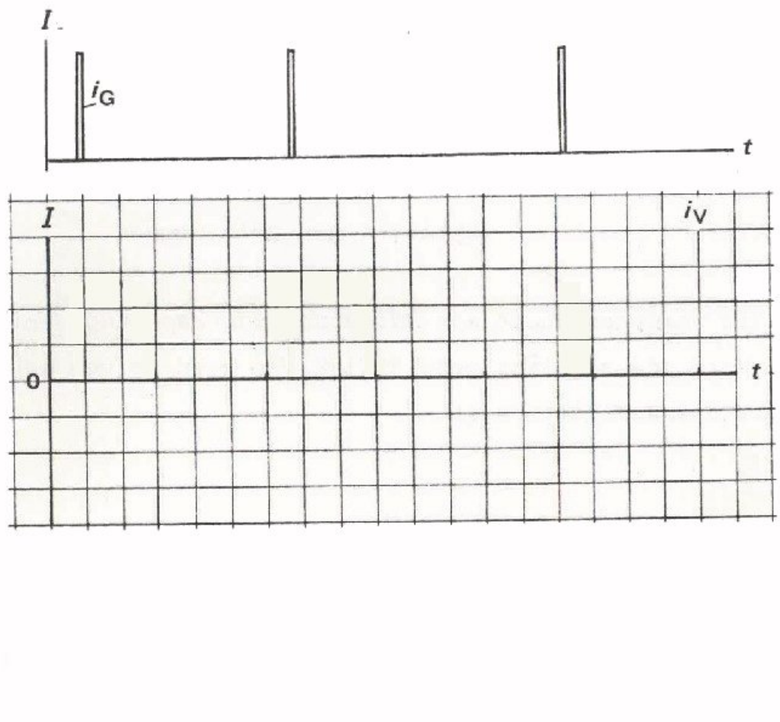
Aanvankelijk is de thyristor niet geleidend. De lamp brandt niet. De thyristor wordt geleidend op het moment dat de eerste gate-stroom impuls wordt toegevoerd. Gedurende de positieve periodehelft blijft de thyristor geleidend, zodat de lamp dan brandt. Tijdens de negatieve periodehelften spert de thyristor en de lamp brandt niet. Regelen van het vermogen dat aan de lamp wordt toegevoerd, gebeurt door de gate-stroom pulsen in de tijd te verschuiven. Hierdoor wordt elke periode opnieuw de stroom door de lamp ingeschakeld, terwijl de thyristor zichzelf telkens weer uitschakelt. Een deel van de positieve halve periodetijd loopt er stroom door de lamp. Dit deel kan groter of kleiner gemaakt worden door de gatestroom puls te verschuiven.

OEFENING

Teken in onderstaande figuur de thyristorstroom.

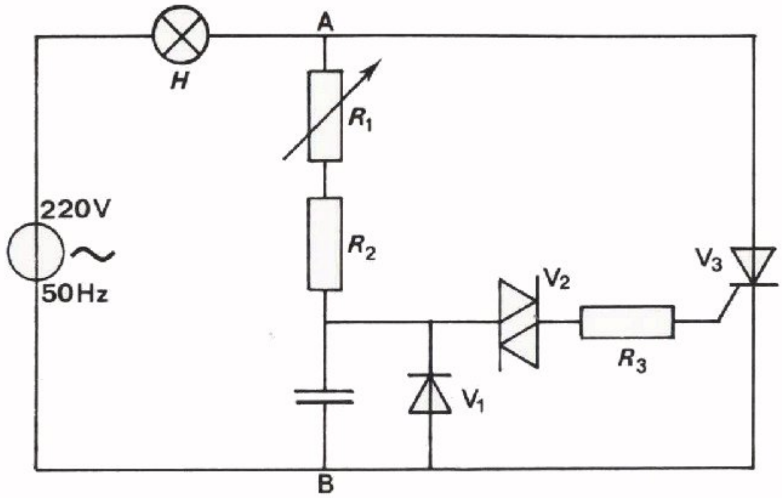


Herhaal deze opdracht als de gatestroom het volgend verloop heeft.

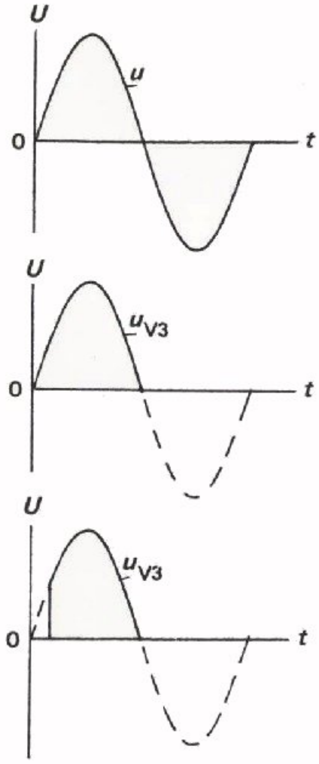


"HALVE PERIODE" REGELING

In les B232 is volgende schakeling behandeld.



Het vermogen dat aan de gloeilamp wordt toegevoerd, wordt geregeld door middel van een thyristor V_3. Een diac V_2 vorgt voor de impulsen die de thyristor telkens geleidend maken. Deze schakeling heeft echter een ernstig nadeel.



Als de gloeilamp direct op het lichtnet wordt aangesloten, wordt over de gehele periode een vermogen *P* geleverd.

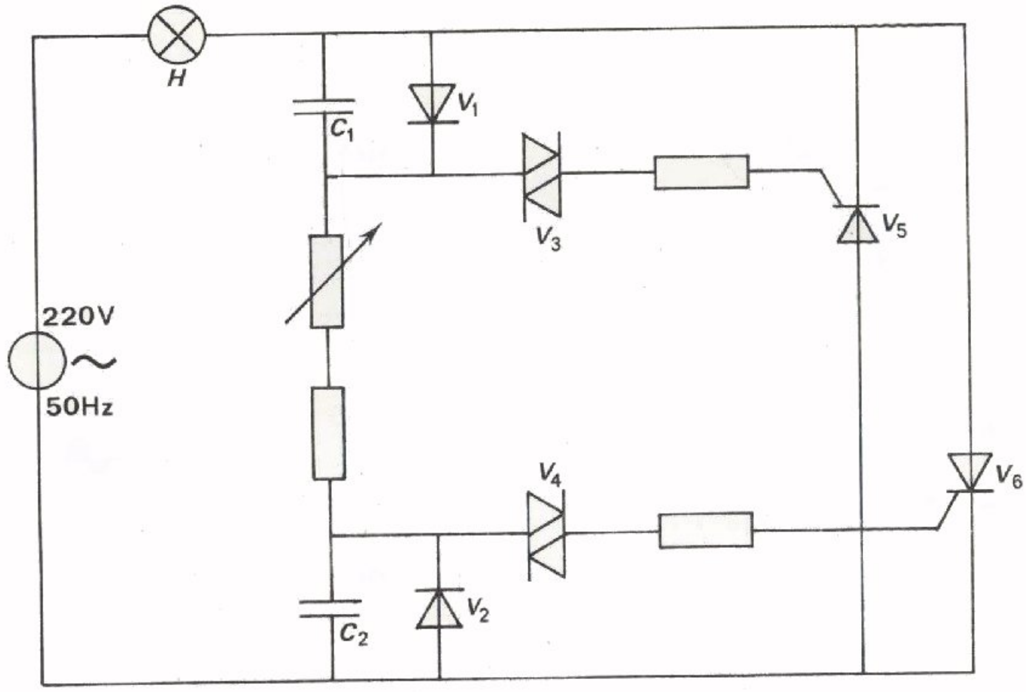
Het vermogen dat in bovenstaande schakeling wordt geleverd, is maximaal $\frac{1}{2}$ *P*. Gedurende de negatieve periodehelften kan namelijk geen vermogen geleverd worden. Dit is het nadeel.

Gedurende de positieve periodehelften kan het vermogen vervolgens met behulp van de thyristor geregeld worden.

Deze regeling van vermogen noemt men *halve periode regeling*. In vele gevallen is halve periode regeling bezwaarlijk. We gaan nu een schakeling bekijken die dit bezwaar niet heeft.

VOLLEDIGE PERIODE REGELING

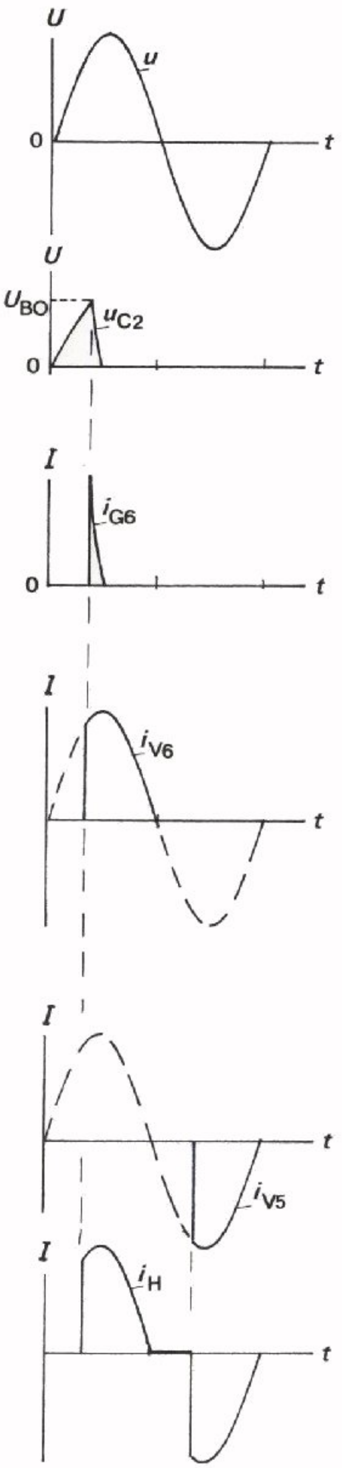
Dit is een schakeling, waarin gedurende de hele periode vermogen geleverd kan worden.



Met behulp van twee diac's wordt één impuls tijdens de positieve en één impuls gedurende de negatieve periodehelft opgewekt. Dit is in les B231 uitvoerig ter sprake geweest. De schakeling bevat ook twee thyristors. Thyristor V_6 regelt het vermogen in de positieve periodehelft en V_5 in de negatieve helft. Op deze manier ontstaat een zogenaamde *volledige periode regeling.*

In feite is deze schakeling een dubbele uitvoering van de schakeling op het vorige blad. Op het volgend blad wordt de gehele schakeling nog eens stap voor stap behandeld.

Bekijk het schema van het vorige blad hierbij.



Dit is de grafiek van de netspanning.

Tijdens de positieve periodehelften wordt C_2 via de diode V_1 geladen tot U_{B0} van diac V_4.

De diac V_4 levert een impulsstroom i_{G6} aan de gate van thyristor V_6.

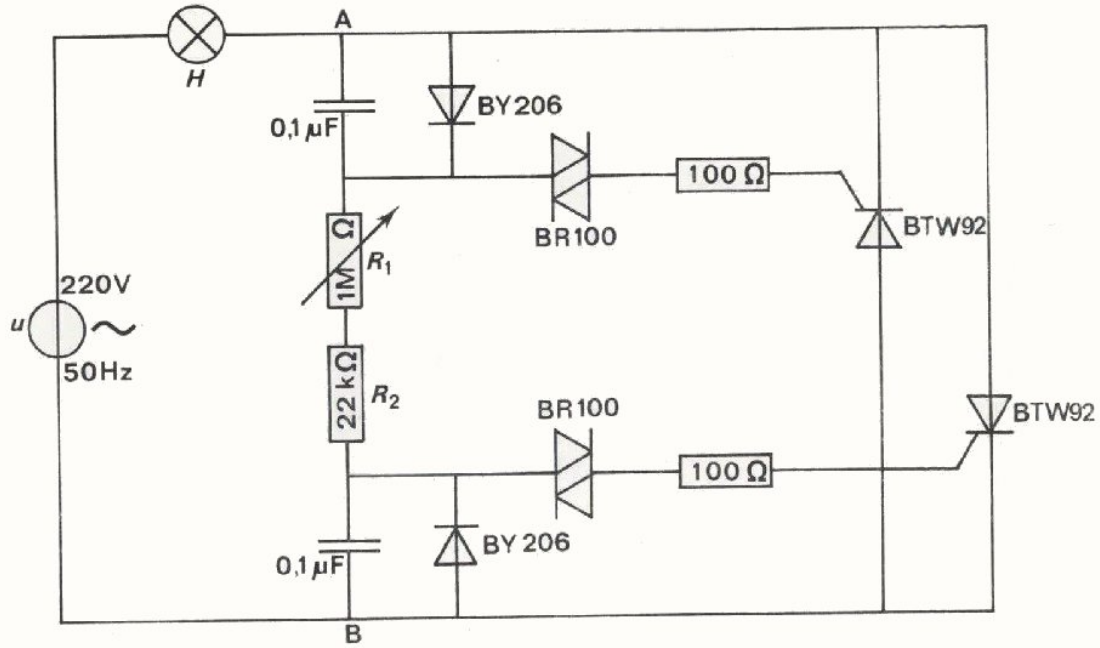
De thyristor V_6 wordt geleidend en blijft dit tot aan het eind van de positieve periodehelft.

Tijdens de negatieve periodehelften wordt C_1 via V_2 geladen tot U_{B0} van de diac V_3. Er volgt dan een impulsstroom i_{G1} op de gate van V_5. Het resultaat is dat V_5 geleidend wordt en dit blijft tot het eind van de negatieve periodehelft.

Door de lamp H loopt zowel i_{V5} als i_{V6}. De stroom door de lamp i_H ziet er dus uit als in nevenstaande figuur.

Regeling van het vermogen door H is nu dus mogelijk van bijna nul tot het maximale vermogen van de lamp.

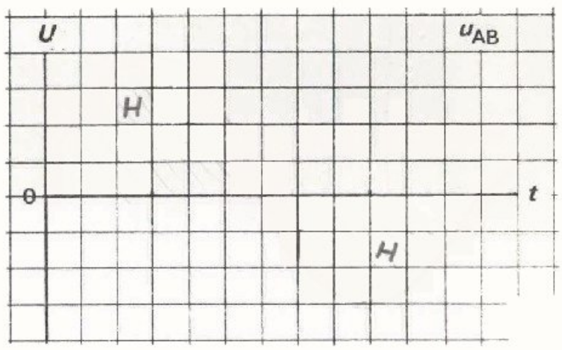
OPDRACHT: VOLLEDIGE PERIODEREGELING MET TWEE THYRISTORS



- Bouw deze schakeling.
- Voer U_{eff} = 220 V - 50 Hz toe. Pas op!
  Maak gebruik van een scheidingstransformator.



- Regel met R_1 het vermogen dat aan H toegevoerd wordt enige malen op maximum en minimum
- Bepaal met behulp van een oscilloscoop de spanning tussen de punten A en B bij maximaal aan H geleverd vermogen. Gebruik hierbij een verzwakkermeetkop 1 : 10. Schets het verloop van de spanning u_{AB} hiernaast.



- Hoe groot is de amplitude van de spanning tussen A en B als de thyristors net niet meer geleiden?

$U_{ab(t)}$ =

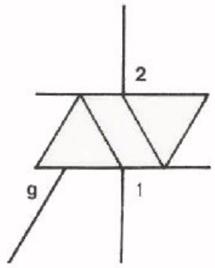
CONCLUSIE

Met behulp van een volledige periode regeling is het mogelijk het vermogen dat aan een lamp H wordt geleverd te regelen van bijna 0 tot P_{max}. P_{max} is daarbij het vermogen dat aan de lamp wordt toegevoerd als u nagenoeg geheel over de lamp komt te staan.

DE TRIAC

De *triac* is een soort dubbelwerkende thyristor. Schakelingen met twee thyristors worden zoveel gebruikt, dat fabrikanten triac's ontworpen hebben die de beide thyristors vervangt.

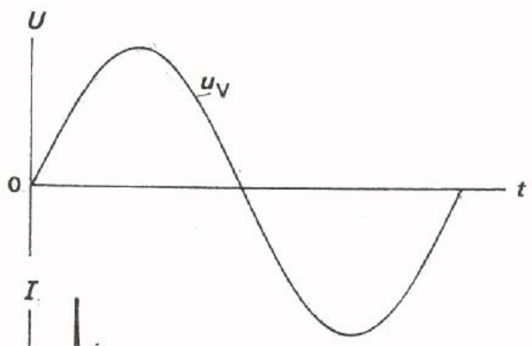
De gate-elektroden van de thyristors zijn vervangen door één gate bij de triac.



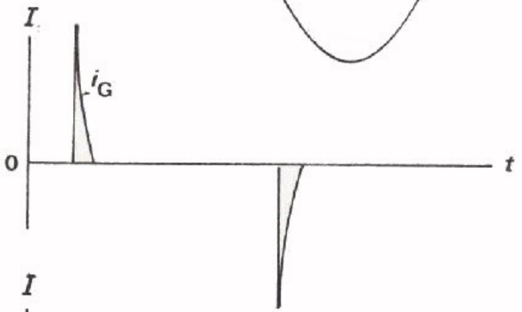
Het symbool van de triac lijkt op dat van de diac, maar verschilt daarvan door de aanwezigheid van een gate-aansluiting. Men spreekt niet van kathode en anode, maar van elektrode 1 en 2.

STURING VAN DE TRIAC

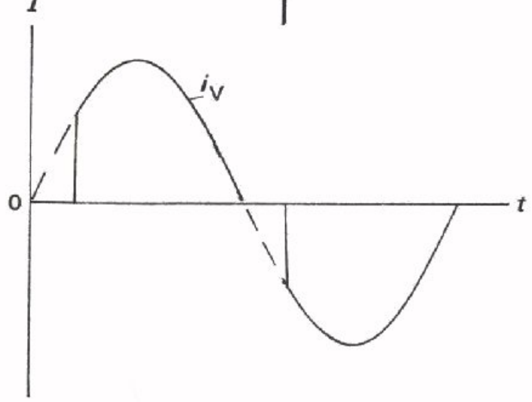
De triac wordt geleidend door een positieve en ook door een negatieve impuls op de gate aan te brengen.



Spanning tussen elektrode 1 en elektrode 2 van de triac.

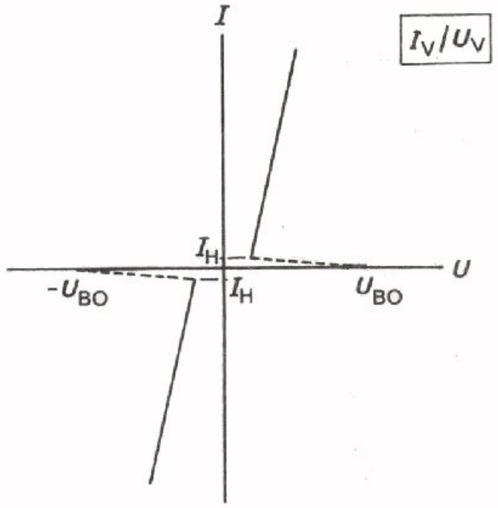


Gate-stroom van de triac.



Op beide momenten in een periode dat gate-stroom door de triac loopt, wordt de triac geleidend. Telkens als de spanning tussen elektroden 1 en 2 ongeveer nul wordt, wordt de triac weer gesperd.

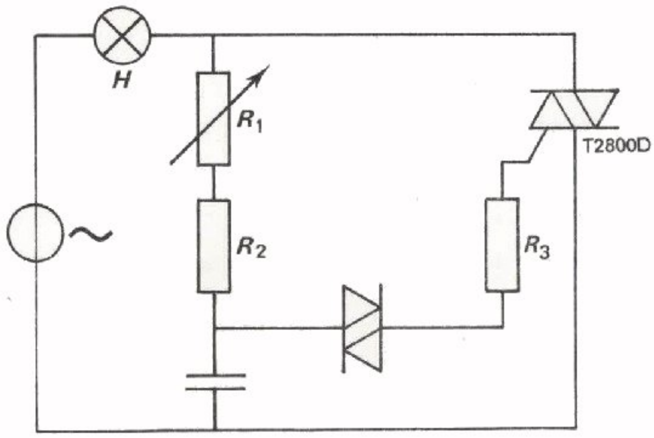
KARAKTERISTIEK VAN DE TRIAC



Dit is de karakteristiek van de triac. In het eerste en in het derde kwadrant ligt een thyristorkarakteristiek. Evenals bij de thyristor vinden we bij de triac een doorslagspanning U_{BO} en een houdstroom I_H. U_{BO} zowel als I_H komen bij de triac zowel positief als negatief voor.

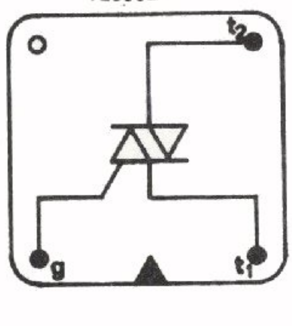
VOLLEDIGE PERIODE REGELING MET DE TRIAC

Ook de triac kan worden gestuurd met de diacschakeling, die we al eerder besproken hebben. De schakeling is eenvoudiger dan die met twee thyristors. De diode die over de condensator C aanwezig was, kan nu wegblijven. De condensator moet immers afwisselend positief en negatief worden geladen.

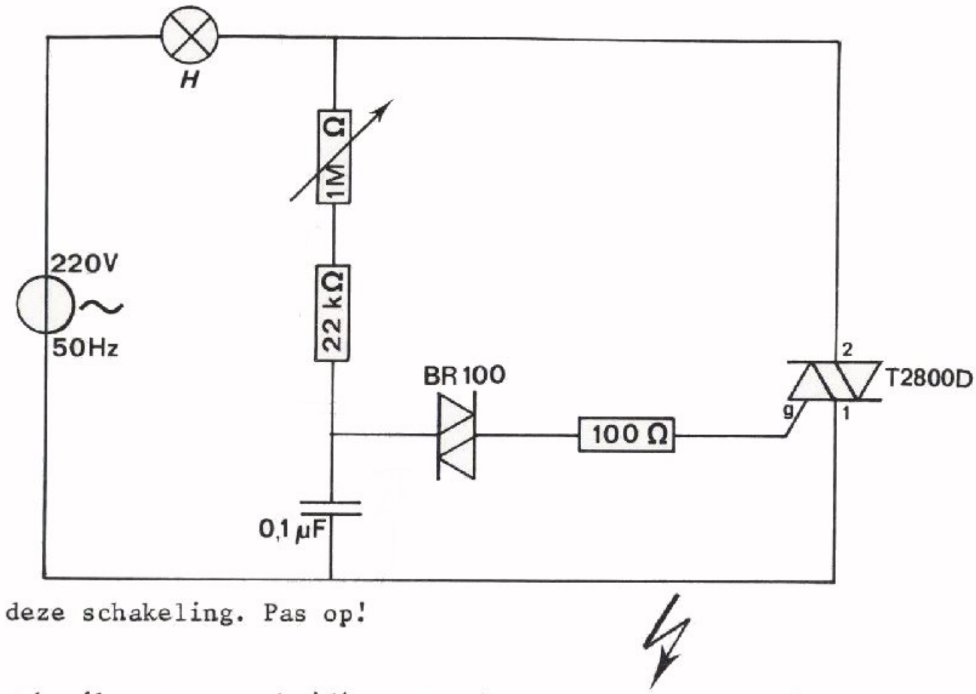


Opmerking: Het getal T2800D is het codenummer van de triac van amerikaans fabrikaat (R.C.A.) waarmee u in de volgende opdracht zelf het vermogen gaat regelen dat aan een lamp H wordt toegevoerd.

Triac
T2800D



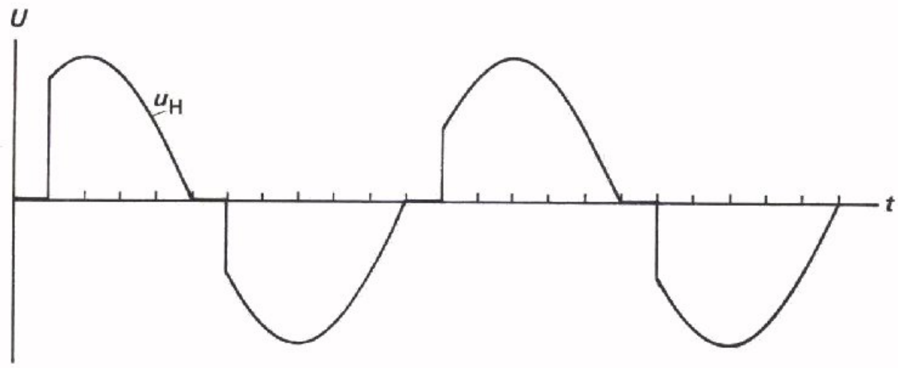
OPDRACHT: VOLLEDIGE PERIODE REGELING MET EEN TRIAC



- Bouw deze schakeling. Pas op!

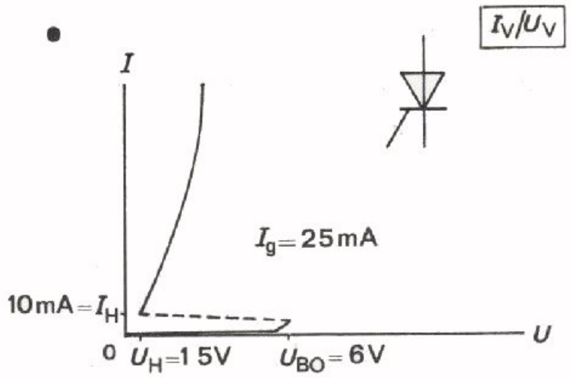
- Maak gebruik van een scheidingstransformator voor de voeding uit het net.

- Regel met de potentiometer het vermogen dat aan L wordt toegevoerd enige malen.
- Trigger de oscilloscoop extern en stel de potentiometer zo in, dat u volgende spanningsvorm over de lamp op het scherm ziet.



- Bekijk vervolgens met behulp van de oscilloscoop de spanning over de condensator u_c en de gatestroom i_G. Tracht de beelden die u op het scherm ziet te verklaren.

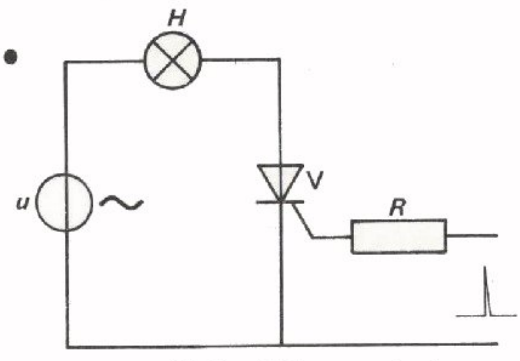
SAMENVATTING

- 

Dit is de karakteristiek van een thyristor bij gatestroom i_G = 25 mA.

U_{BO} = doorslagspanning
U_H = houdspanning
I_H = houdstroom

Bij zwevende gate (I_G = 0) is U_{BO} veel groter (≈ 700 V).

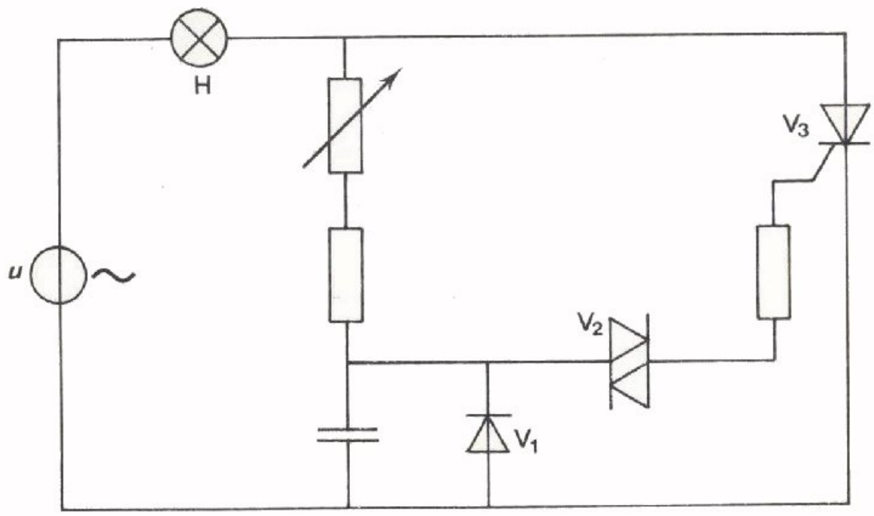
- 

R = beveiligingsweerstand

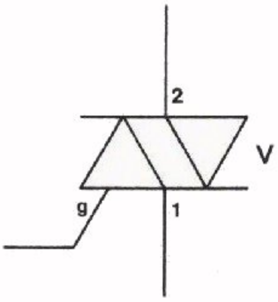
Door middel van impulsen op de gate kan men een thyristor sturen. Gedurende een deel van de positieve periode helften van u wordt de thyristor geleidend. Op deze wijze is het mogelijk door middel van tijdregeling het vermogen dat aan bijvoorbeeld een gloeilamp wordt toegevoerd kleiner of groter te maken.

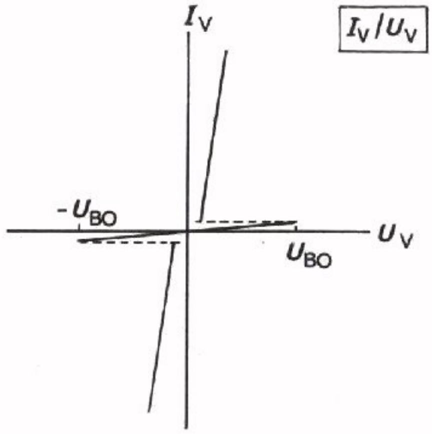
In de praktijk verkrijgt men de impulsen met behulp van een diac.

- Met deze schakeling verkrijgt men *halve periode* regeling.

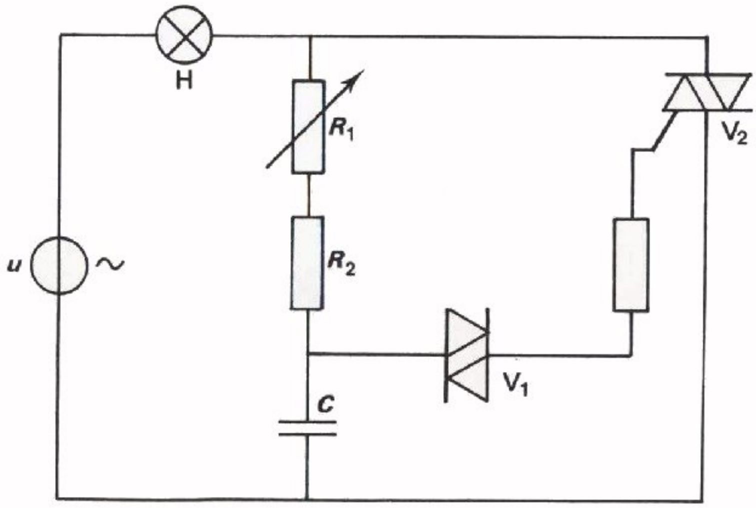


- *Volledige periode* regeling is mogelijk met behulp van schakeling die dubbel is uitgevoerd.
- In de praktijk verwezenlijkt men volledige periode regeling met een *triac*. Dit is een soort dubbelwerkende thyristor.





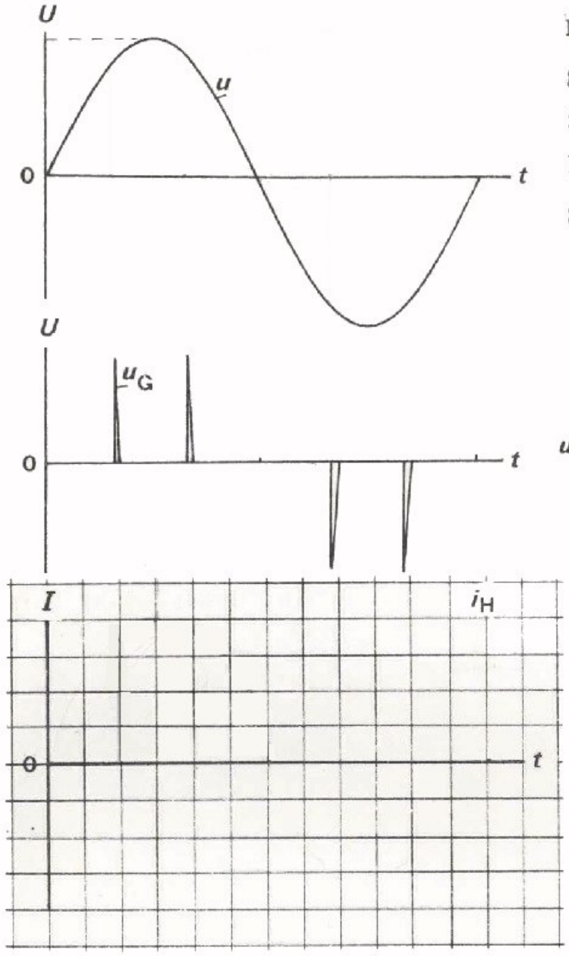
- Schakeling voor volledige periode regeling met behulp van een diac en een triac.

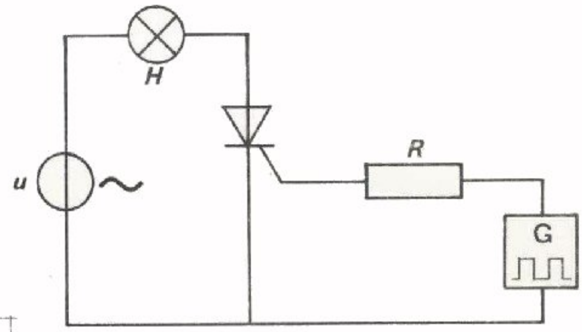


NAAM: **KLAS:**

OEFENINGEN

1. Hier is het schema van een thyristor gestuurde vermogensregeling. Schets in de grafieken de stroom door de lamp L. De voedingsspanning en de geleverde gate spanning zijn gegeven.





2. Hoe groot is het maximale vermogen dat gemiddeld per periode aan de lamp in bovenstaande schakeling kan worden geleverd?

De weerstand van de lamp bedraagt R_H:

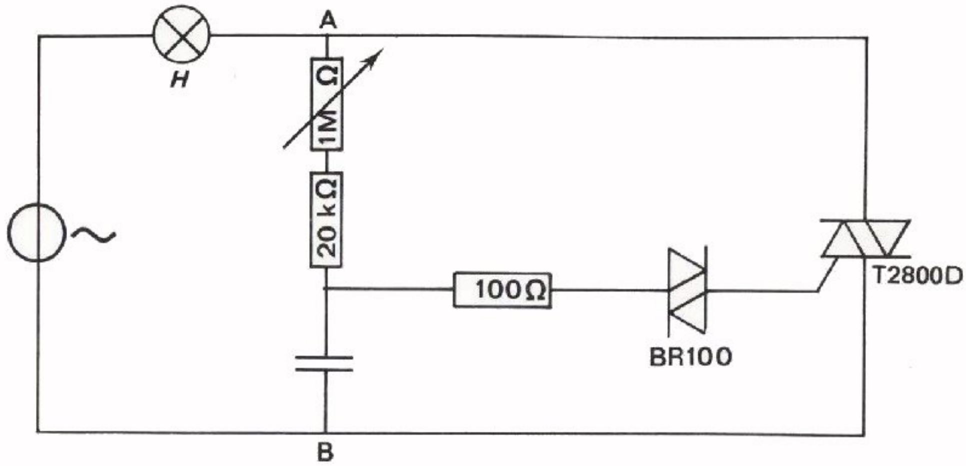
$P_{max} = \frac{U_t^2}{R_H}$ O

$= \frac{U_t^2}{2R_H}$ O

$= \frac{U_t^2}{4R_H}$ O

$= \frac{U_t^2}{8R_H}$ O

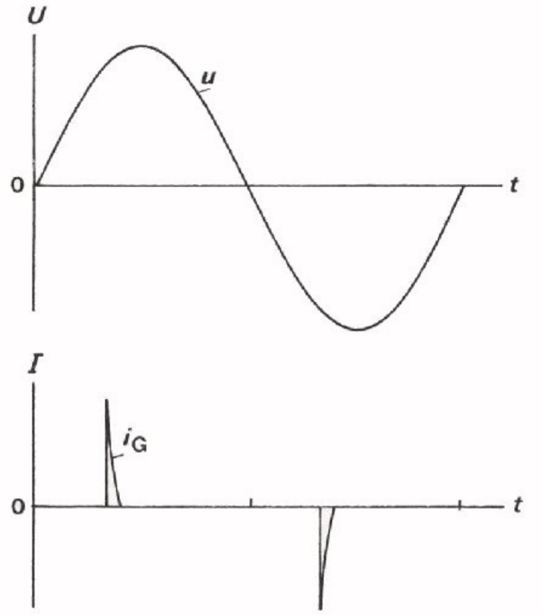
3.

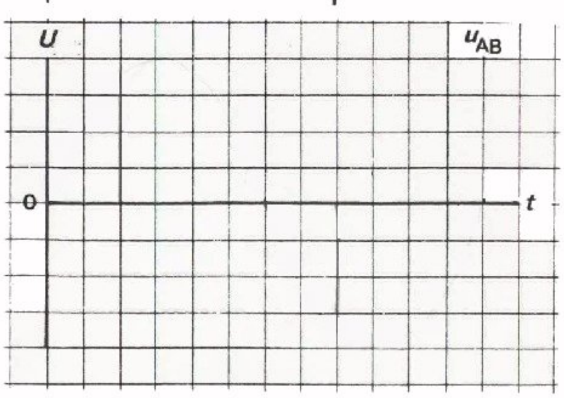


Geef de namen van de componenten BR100 en T2800D.

BR100 is een [ ] T2800D is een [ ]

Schets in onderstaande grafiek de spanning u_{ab} over de T2800D bij de gegeven netspanning u en gate stroom i_G.





B 234

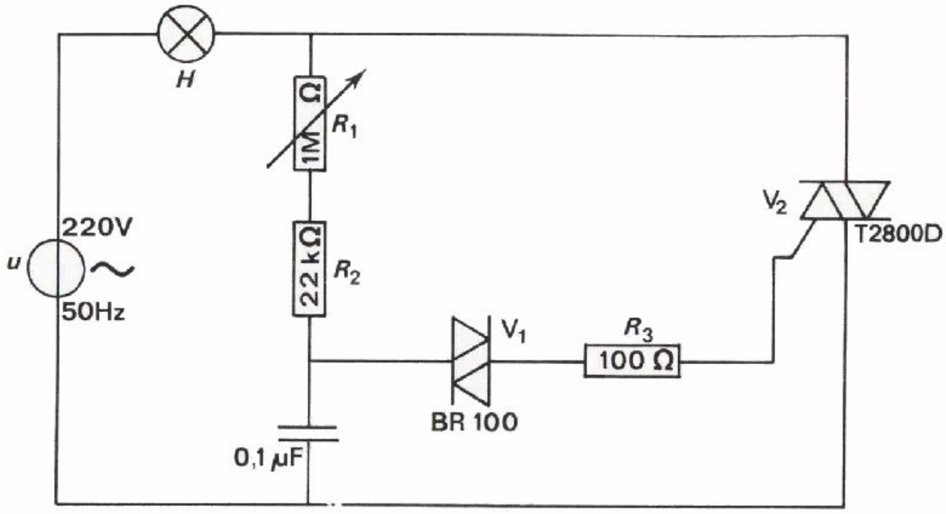
SCHAKELINGEN MET TRIAC EN THYRISTOR

INLEIDING

In deze les over de componenten diac, thyristor en triac, bespreken we een verschijnsel dat bij vermogensregeling storend werkt en de manier waarop dit verholpen wordt. Dit verschijnsel staat bekend als "hysterese". Daarna komen kort ter sprake: vermogensverbruik, storingen en codering. Tenslotte komen een aantal schakelingen aan de orde die veel toepassing vinden. We behandelen deze praktijkschakelingen alleen op papier; een praktische behandeling met proeven zou namelijk veel onderdelen en tijd vergen.

OPDRACHT: METEN VAN HYSTERESE

In deze opdracht gaan we eerst het verschijnsel *hysterese* bekijken. Daarna gaan we er wat verder op in.

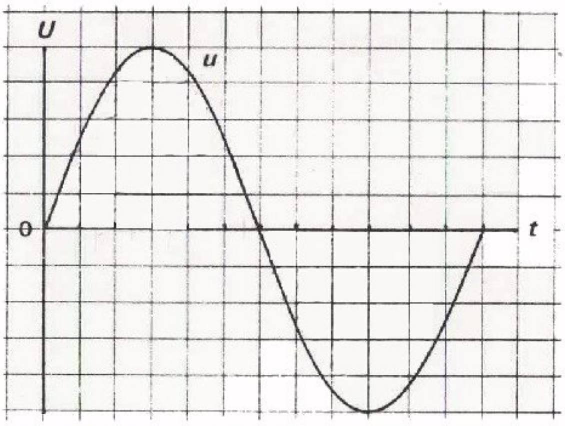


- Bouw deze schakeling.

  In de vorige les hebben we deze schakeling om het vermogen door de gloeilamp H te regelen ook al gebruikt. 

- Voer via een transformator of variac een spanning toe van 220 V - 50 Hz.
- Maak op het scherm van de oscilloscoop één periode zichtbaar van de spanning over de triac V_2.
- Stel R_1 in op zijn maximale waarde. Maak R_1 vervolgens geleidelijk aan kleiner totdat de triac geleidend wordt.

  Geef het moment van geleidend worden in nevenstaande figuur aan.



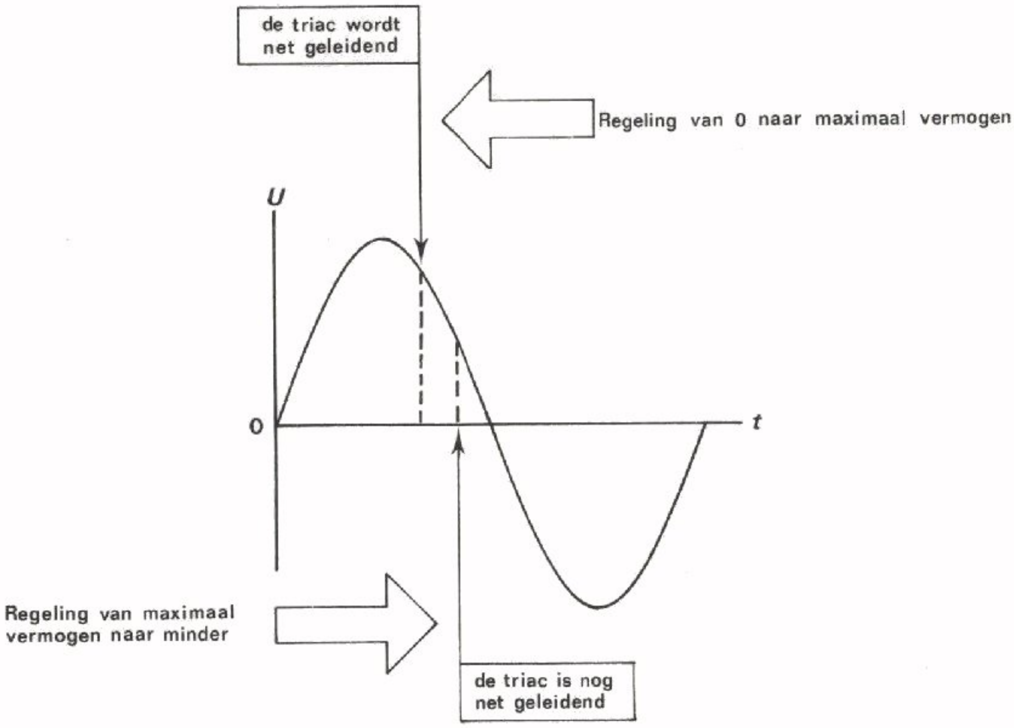
- Stel R_1 in op zijn minimale waarde. Maak R_1 vervolgens geleidelijk aan groter totdat de triac net niet meer geleidend is.

  Geef dit moment van juist niet meer geleidend zijn eveneens in bovenstaande grafiek aan.

- Regel R_1 nog eens heen en weer en let op het gedrag van de gloeilamp.

HYSTERESE

In de vorige opdracht hebben we gemerkt dat het kleinste vermogen dat aan de gloeilamp geleverd wordt afhankelijk is van welke kant af men regelt. Hieronder is dit in beeld gebracht.

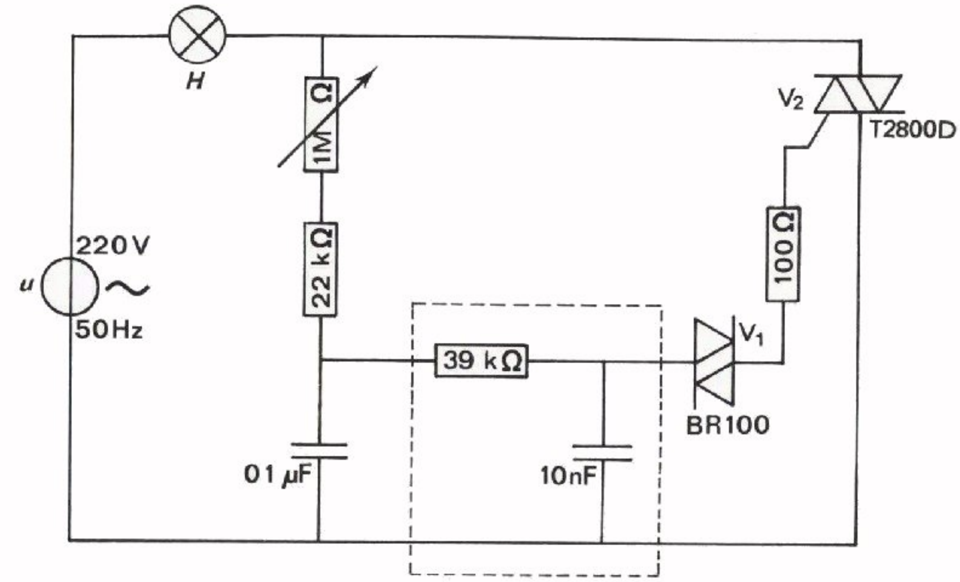


Het verschijnsel dat er verschil bestaat tussen "de heen en de terugweg" bij regeling noemt men *hysterese.*

Het hystereseverschijnsel is vaak erg hinderlijk. Het is bij een dimverlichting in een bioscoop bijvoorbeeld ongewenst dat hij reageert als de gloeilamp in de vorige opdracht.

Het verschijnsel wordt veroorzaakt door de diac in de schakeling. We gaan hier niet verder op in; dit zou te ver voeren. Wel geven we bij de volgende opdracht een schakeling die dit hinderlijke verschijnsel onderdrukt. We verklaren de werking van deze schakeling overigens niet, maar laten u alleen ervaren dât hij beter werkt.

OPDRACHT: SCHAKELING DIE HYSTERESE ONDERDRUKT



- Bouw deze schakeling.

  Dit is een van de schakelingen die gebruikt wordt om het hystereseverschijnsel te voorkomen. Het is dezelfde schakeling als op blad B234.2 met dien verstande dat een extra *RC*-combinatie is toegevoegd. Deze *RC*-combinatie is door een streeplijn omgeven.

- Voer via een transformator met gescheiden wikkelingen een spanning van 220 V (50 Hz) toe. Pas op!

- Sluit de weerstand van 39 kΩ kort. De schakeling is nu praktisch gelijk aan die van blad B234.2.

- Meet met de oscilloscoop de spanning over de triac V_2. Bekijk het hystereseverschijnsel nog eens.

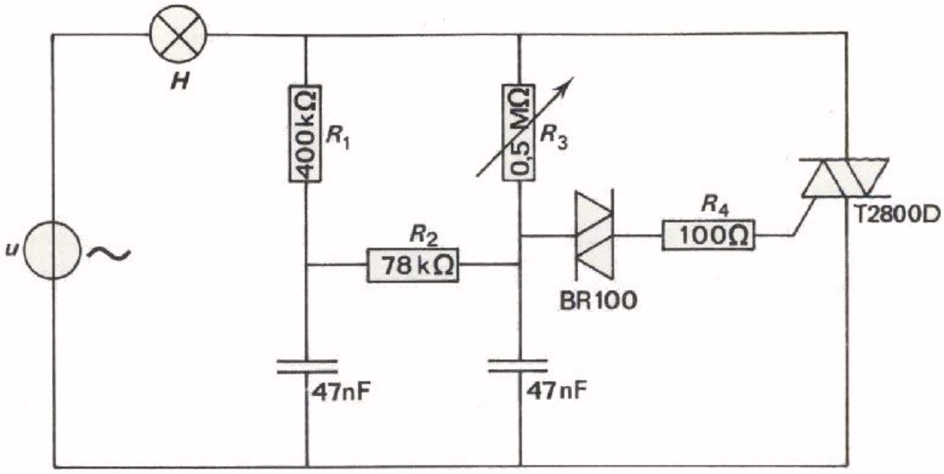
- Hef de kortsluiting over de weerstand van 39 kΩ op en bekijk weer de hysterese.

CONCLUSIE

De hysterese is nu:

niet kleiner	O
ongeveer gehalveerd	O
nagenoeg onderdrukt	O

OEFENING



Deze schakeling wordt ook wel gebruikt voor het regelen van het vermogen door de gloeilamp H.

De BR100 is een ____________________

De T2800D is een ____________________

Waarvoor dient de BR100?

____

____

____

____

Op welke wijze regelt men het aan H geleverde vermogen?

____

____

____

____

Waarvoor dient R_4?

____

____

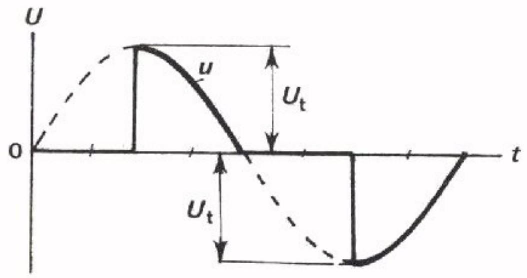
____

____

VOORDELEN VAN THYRISTORS EN TRIACS

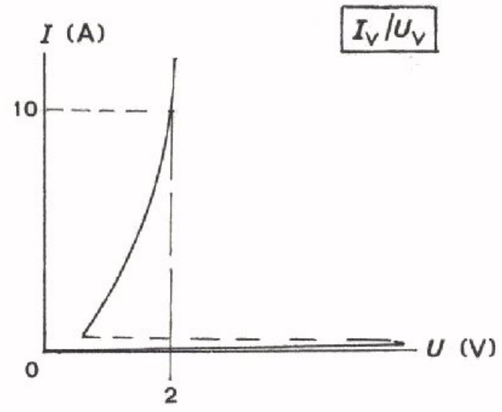
We hebben gezien dat we door middel van tijdsregeling met thyristors en triacs vermogensregeling kunnen verwezenlijken. Voordelen van vermogensregelingen met deze componenten ten opzichte van regelingen door middel van een variabele voorschakelweerstand of een variac zijn de volgende:

- Regelschakelingen met diac's, thyristors of triacs nemen zeer weinig ruimte in. Men kan de benodigde elektronische componenten in een klein volume bouwen; veel kleiner dan bijvoorbeeld een variac.
- Zo'n elektronische schakeling is meestal lager in prijs.
- Hij neemt zelf slechts een gering vermogen op. Bij regeling met een schuifweerstand bijvoorbeeld gaat een belangrijk gedeelte van het te regelen vermogen als warmte in die weerstand verloren.
- Dit soort elektronische schakelingen laat zich gemakkelijk besturen. U hebt zelf al gemerkt, dat het mogelijk is door draaiing aan een potentiometer het vermogen van een gloeilamp te regelen. Zware motoren, de verlichting van een grote bioscoopzaal laten zich zeer eenvoudig regelen met één kleine potentiometer. Bovendien kan deze besturing gemakkelijk op afstand geschieden.
- Bij tijdsregeling kan de topwaarde van de voedingsspanning behouden blijven, als men tenminste niet verder dan $\frac{1}{4}$ periode regelt. Dit is van belang bij regeling van TL-verlichting. Wordt de topspanning te klein, dan ontsteekt deze niet meer. Ook bij toerenregeling van elektromotoren is het belangrijk dat de topspanning behouden blijft, omdat een motor anders snel aan trekkracht verliest.
  Regelt men motoren of TL-verlichting met een weerstand of variac dan gaat dit altijd ten koste van de topwaarde.



VERMOGEN IN THYRISTORS EN TRIACS

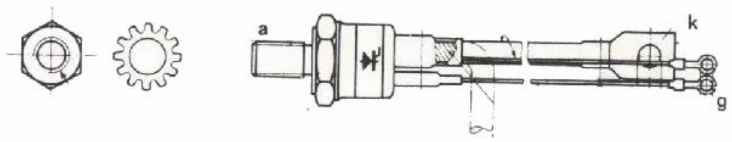
Op het vorig blad vermeldden we de voordelen van elektronische vermogensregelingen. Een van deze voordelen is dat deze regeling slechts een gering vermogen opneemt.



Bekijken we een eenvoudig geval dat een belasting geregeld wordt door middel van een thyristor BTY 79.
Uit de karakteristiek blijkt dat deze thyristor 10 A voert bij slechts 2 V.
Regelen we bijvoorbeeld een 220 V - gloeilamp, dan staat over de lamp 219 à 218 V en over de thyristor 1 à 2 V.

Het vermogen dat in de thyristor gaat zitten is dus verwaarloosbaar klein ten opzichte van het totaal toegevoerde vermogen. Men zegt dat regelingen met thyristors en triacs een hoog rendement hebben.

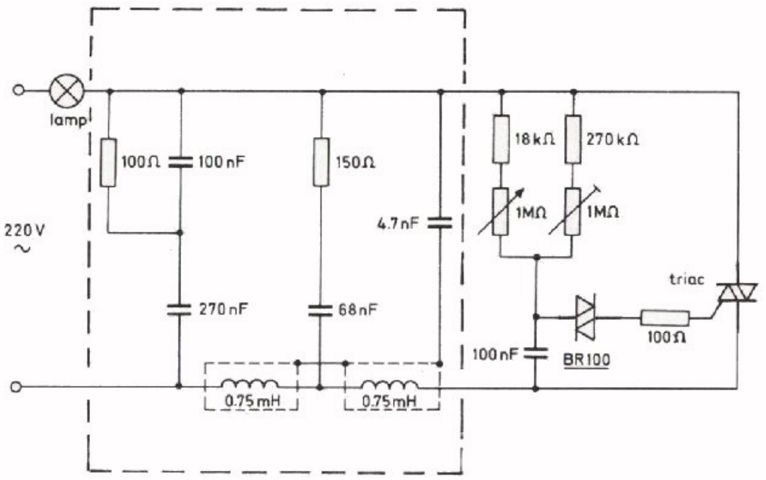
Het vermogen dat in een thyristor of triac achterblijft, is niet nul.
Deze componenten moeten in de praktijk meestal goed gekoeld worden.



Hier ziet u een voorbeeld van een thyristor die op een koelplaat gemonteerd kan worden.

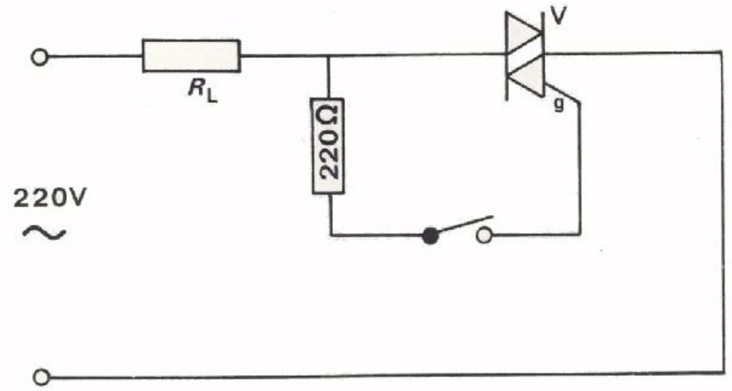
STORINGEN

We stappen nu over op een geheel ander onderwerp. Het inschakelen van de stroom door middel van een thyristor of diac gaat zeer snel. Bovendien worden bij vermogensregelingen veelal grote stromen geschakeld. Hierdoor ontstaan storingen op het lichtnet. Op ditzelfde net zijn radio- en TV-toestellen aangesloten en daarin worden deze storingen op onaangename wijze hoorbaar en zichtbaar. Er zijn daarom voorschriften gemaakt die het veroorzaken van grote kortstondige stroompieken op het lichtnet verbieden. Om aan deze voorschriften te kunnen voldoen moeten thyristorregelingen voorzien zijn van zogenaamde *netfilters*.
Hier ziet u zo'n schakeling met netfilter.



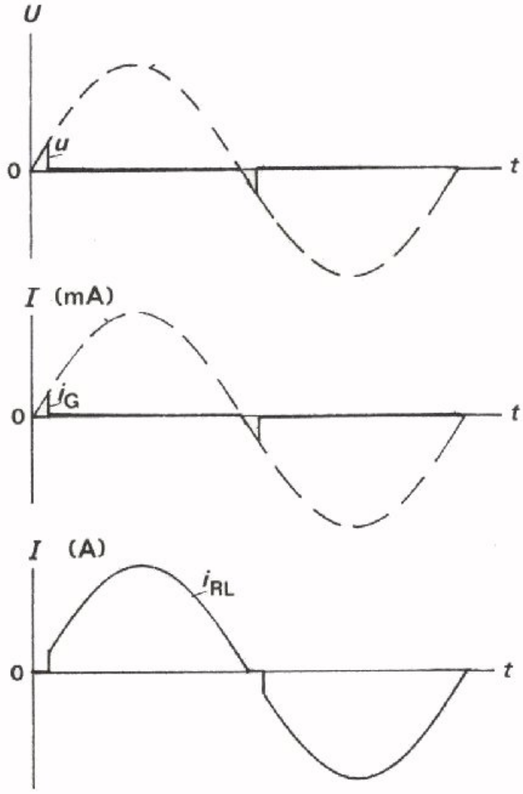
In het gestreepte stuk van dit schema bevindt zich het netfilter. Dit filter beperkt de stroompieken op het net. Op de werking gaan we hier niet verder in.

NOG EEN SCHAKELING



In deze schakeling wordt alleen een triac toegepast. De schakeling is niet bedoeld om vermogen te regelen, maar om een groot vermogen aan en uit te schakelen. Hoe werkt deze schakeling?

Zolang de schakelaar open staat, krijgt de gate geen stroom toegevoerd. Dan kan de triac niet geleiden, ook al komt over de triac V een grote spanning te staan.



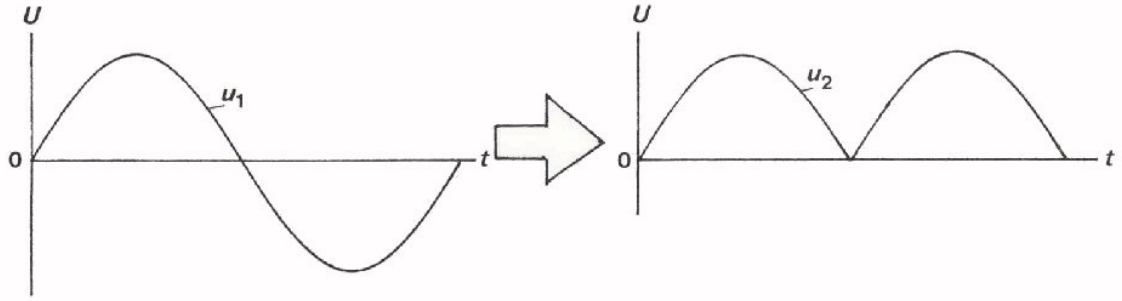
Stel nu dat de schakelaar gesloten is. Als de momentele waarde van de toegevoerde wisselspanning *u* dan nul is, geleidt de thyristor niet. Daarna neemt *u* toe. Omdat deze *u* nu gedeeltelijk aan de gate wordt toegevoerd, gaat er een toenemende gatestroom lopen. Reeds bij een zeer kleine waarde van *u* is de gatestroom zo groot geworden, dat de thyristor bij dezelfde *u* over de triac V gaat geleiden. Zo wordt nu gedurende vrijwel de gehele halve periode stroom aan de belasting toegevoerd.

De volgende halve periode herhaalt zich deze geschiedenis. Het is nu alsof de belasting direct op de netspanning is aangesloten. Bij een gewone schakelaar, zoals die bijvoorbeeld gebruikt wordt om de verlichting van een heel gebouw aan en uit te schakelen, gaat de volle stroom door de schakelaar. Deze moet daarom robuust uitgevoerd worden. Hier is dit niet het geval; door de schakelaar loopt slechts een zeer klein deel van de totale stroom. De schakelaar zelf kan licht en klein

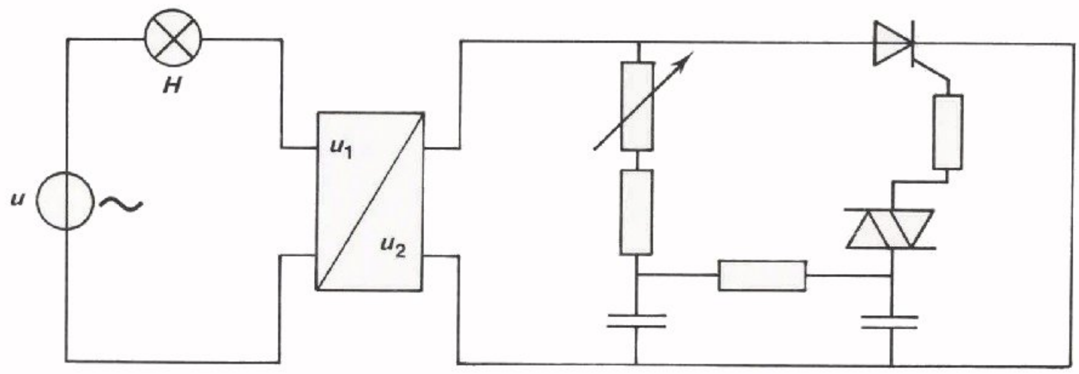
uitgevoerd worden en bovendien heeft men geen last van het inbranden van de contacten.

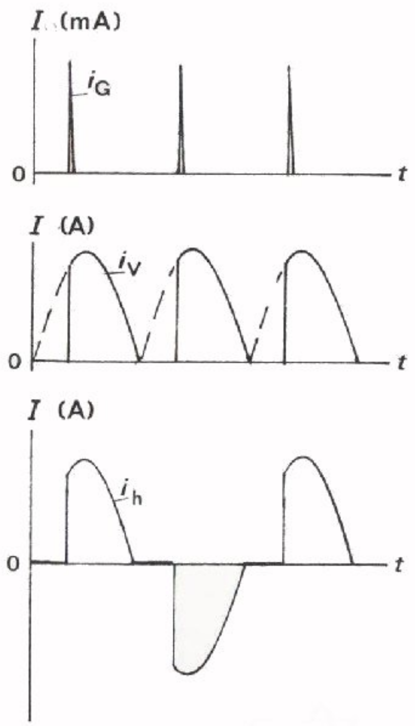
VOLLEDIGE PERIODE REGELING MET ÉÉN THYRISTOR

Door een kunstgreep is het mogelijk volledige periode regeling tot stand te brengen met behulp van slechts één thyristor. Men verwezenlijkt dit door de wisselspanning eerst om te zetten in een zogenaamde dubbelfazig gelijkgerichte spanning. Men maakt daarbij van:



De schakeling die dit doet is in volgend schema als een blokje aangegeven.





De diac levert nu tweemaal per periode een positieve impuls. Elke halve periode van de sinusvormige spanning kan de thyristor dus geleidend worden.

Door de lamp loopt nu een stroom van dezelfde soort als bij een volledige periode regeling met een triac.

CODERING

In het kort iets over de codering van de halfgeleidercomponenten: diac, thyristor en triac.
Deze codering is als volgt:

Eerste letter:	B	Dit betekent vervaardigd van silicium. A betekent gemaakt van germanium, maar dit komt bij deze componenten niet voor.
Tweede letter:	R	In dit verband wijst dit op een diac.
	T	Thyristor of triac.

Na deze twee letters volgen:

3 cijfers	De component is gemaakt voor toepassingen in "huis, tuin en keuken"-apparatuur.
of letter + 2 cijfers	De component is voor toepassingen in apparatuur waaraan hoge eisen worden gesteld, z.g. professionele apparatuur.

VOORBEELDEN

BR 100
- B: silicium
- R: diac
- 100: voor "gewone" toepassingen

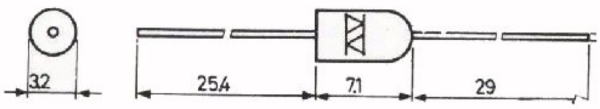
BTY 94
- B: silicium
- T: triac of thyristor
- Y 94: voor professionele doelen

OPMERKING:

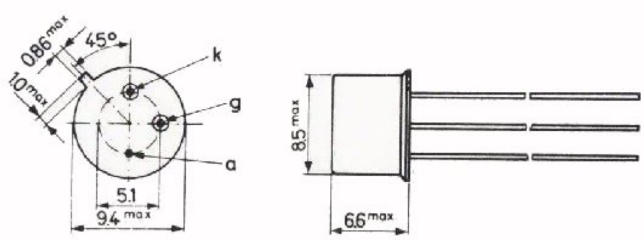
Soms staat aan het eind van de codering nog een R. Dit betekent dat anode en kathode verwisseld zijn. De BTY 99 - 300 R is zo'n component. In deze codering duidt 300 op een maximale sperspanning van 300 V.

UITVOERINGSVORMEN

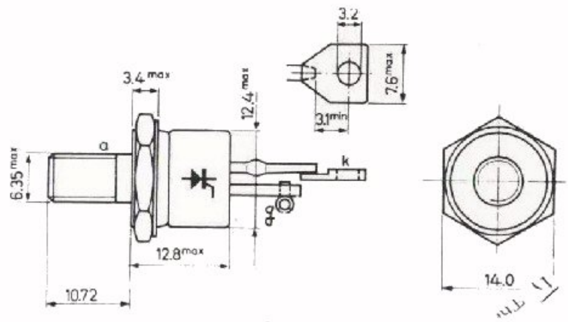
Hier ziet u een aantal uitvoeringsvormen van een diac en thyristors.
De maten zijn opgegeven in mm.



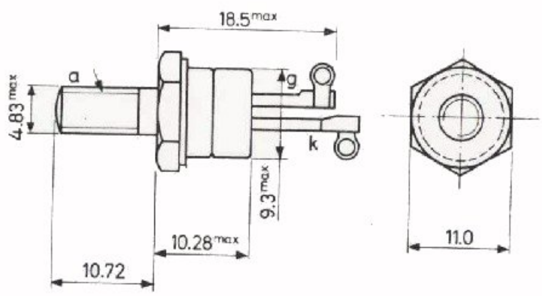
BR 100



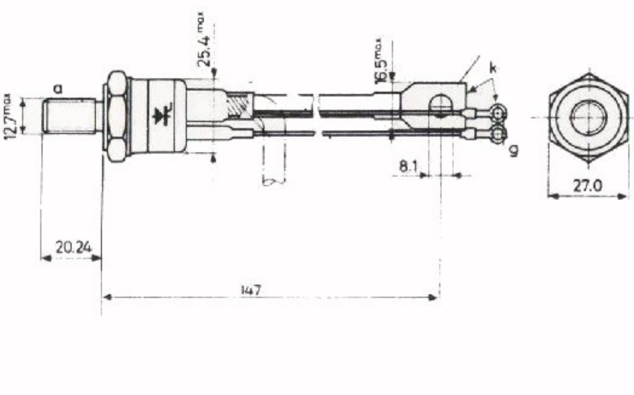
BTX 18



BTX 82



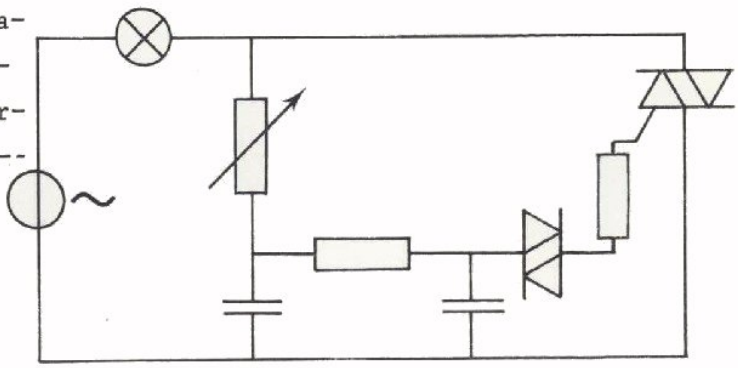
BTY 79



BTY 99

SAMENVATTING

- Bij regeling door middel van thyristors of triacs treedt *hysterese* op. Bij regeling van een lamp naar "uit" verloopt deze regeling anders als bij regeling naar "aan".
  Een van de mogelijke schakelingen waarmee het hysterese verschijnsel onderdrukt kan worden is hiernaast afgebeeld.



- Regelschakelingen met thyristors of triacs geven storingen op het net. Men moet daarom in deze schakelingen *netfilters* opnemen die deze storingen onderdrukken.

- Elektronische vermogensregelingen hebben vele voordelen ten opzichte van andere regelingen. Een van de voornaamste is dat zij zelf weinig vermogen opnemen: deze regelingen hebben een hoog rendement.

- Diac's, triac's en thyristors worden gecodeerd door middel van een letter en cijfercombinatie. De eerste letter is meestal een B (silicium). De tweede letter is een R bij diac's en een T bij de thyristor en de triac. Daarna volgt een getal van 3 cijfers bij componenten voor gewone toepassingen en een letter + 2 cijfers bij professionele componenten.

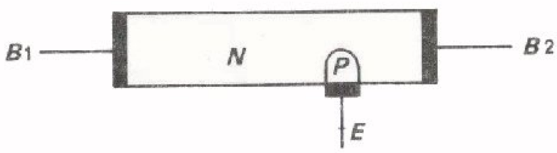
B234.14

B 235

DE UNIJUNCTION TRANSISTOR

DE UNI-JUNCTION TRANSISTOR

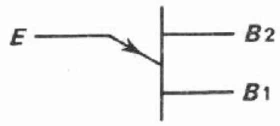
In voorgaande lessen hebben we de diac, de thyristor en de triac besproken. Al deze componenten zijn uit halfgeleidermaterialen vervaardigd. Verder hebben ze nōg iets gemeenschappelijks. Het zijn namelijk allemaal componenten waarmee stromen en spanningen worden in- en uitgeschakeld. In deze les behandelen we de *uni-junction* transistor (spreek uit: oeni-junksjun transistor). Ook dit is een component waarmee stromen en spanningen worden in- en uitgeschakeld. Weliswaar draagt deze component de naam transistor, maar het is geen transistor in de gebruikelijke betekenis van dit woord.
De uni-junction transistor, kortweg U.J.T. genaamd, heeft drie aansluitingen; in zoverre is er wel overeenkomst met de transistor. De benaming van de aansluitingen zowel als de opbouw van de component, zijn wezenlijk anders.



De component bestaat uit een stukje N-materiaal waaraan twee aansluitingen B1 (basis 1) en B2 (basis 2) zijn aangebracht. Op een plaats dichter bij B2 dan bij B1 is een stukje P materiaal aangebracht; hierop zit een aansluiting die E (de emitter) wordt genoemd.

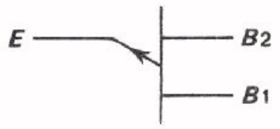
Opmerking: Als basismateriaal kan ook P-silicium worden gebruikt met als emitter een stukje N-silicium.

SYMBOOL EN WERKING VAN DE U.J.T.

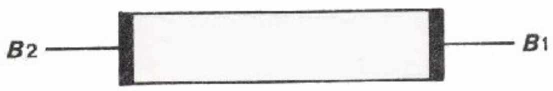


Dit is het symbool van de U.J.T. met als basismateriaal N-type silicium.

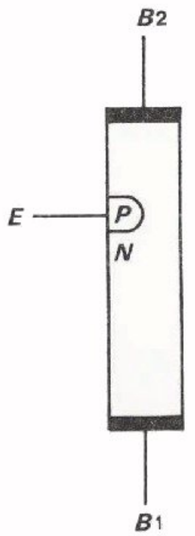
Een U.J.T. met P-type basismateriaal heeft een pijl op de emitter, die in tegengestelde richting wijst.



Hoe werkt nu deze U.J.T.?



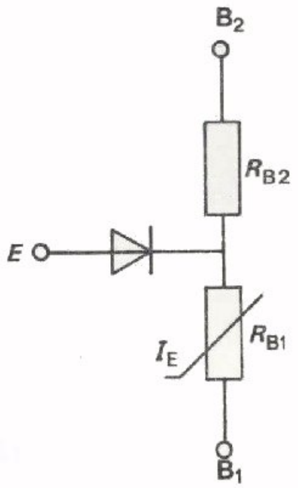
De basis vormt een weerstand R_{BB} tussen de aansluitingen B_1 en B_2. De waarde van deze weerstand ligt tussen 5 en circa 10 kΩ. De grootte is afhankelijk van het fabrikaat.



Tussen de emitter en de basisaansluiting bevindt zich een PN overgang, dus een diode.
Tussen deze diode-aansluiting en B_1 bevindt zich het grootste deel van de weerstand R_{BB}, de rest van deze weerstand zit tussen de diode-aansluiting en B_2.
Een stroom die van emitter naar basisaansluiting B_1 loopt, veroorzaakt een daling van de weerstand die tussen B_1 en de diode-aansluiting zit.
Zonder hier diep op in te gaan vermelden we dat deze weerstanddaling veroorzaakt wordt door een toename van de hoeveelheid vrije lading in het basismateriaal zodra via de PN overgang een stroom in het basis-materiaal gaat lopen.
Voor U zijn vooral de gebruiksmogelijkheden van belang; vandaar dus dat we daarop vooral ingaan.

EEN VERVANGINGSSCHEMA VOOR DE U.J.T.

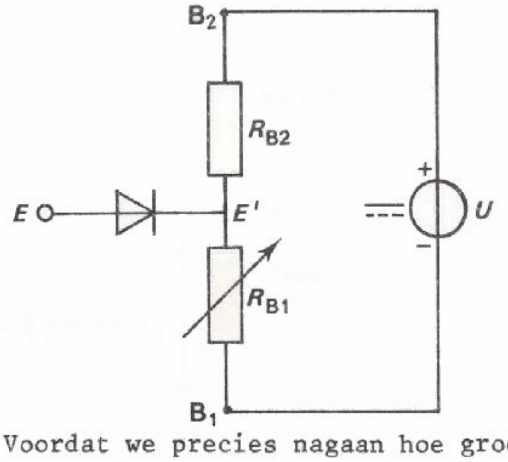
We hebben al gezien dat R_{BB} verdeeld wordt in twee ongelijke stukken door de diode-aansluiting. We duiden deze stukken aan met R_{B1} en R_{B2}, en de verhouding - in stroomloze toestand - met η (eta); heel precies gezegd $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{BB}}$. (Men noemt η de stand-off ratio).



Weerstand R_{B1} kan van waarde veranderen doordat we een stroom van de emitter naar de basis laten lopen. In het schema is daarom R_{B1} van een pijl voorzien. Het hiernaast getekende schema is het vervangingsschema van de U.J.T. Zo'n vervangingsschema vereenvoudigt het bespreken van de werking.

Sluiten we tussen B_2 en B_1 een spanningsbron aan, dan gaat een stroom lopen. Deze stroom veroorzaakt op de diode-aansluiting E' een spanning ten opzichte van B_1, die gelijk is aan

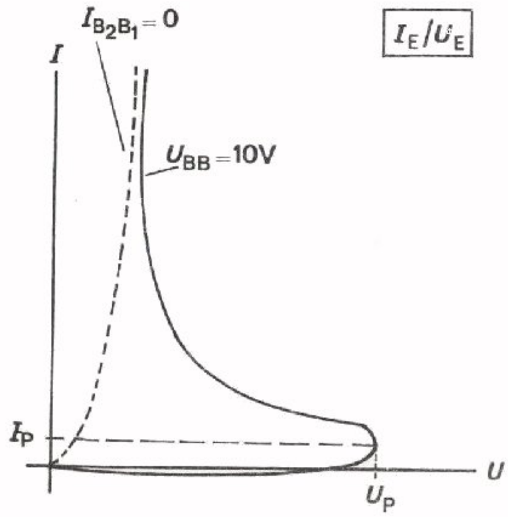
$$U_{E'} = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot U = \frac{R_{B1}}{R_{BB}} \cdot U = \eta . U$$



Om van de emitter E een stroom naar de basisaansluiting B_1 te kunnen laten lopen, moet een spanning worden aangesloten die ongeveer 0,7 V hoger is dan de spanning $U_{E'}$.

Voordat we precies nagaan hoe groot de stroom is die we van E naar B_1 moeten laten lopen en hoe groot de weerstandsverandering van R_{B1} dan is, gaan we eerst de karakteristiek van de U.J.T. bekijken.

DE KARAKTERISTIEK VAN DE U.J.T.



Dit zijn twee I_E-U_E karakteristieken van een U.J.T. De gestreepte karakteristiek is die van een normale diode. Hierbij staat aangegeven dat $I_{B2B1} = 0$, zodat tussen de emitter en B_1 in feite alleen een diode met serieweerstand R_{B1} is aangesloten.

Deze serieweerstand is groot als I_E klein is, maar wordt bijna nul als de emitterstroom groot wordt.

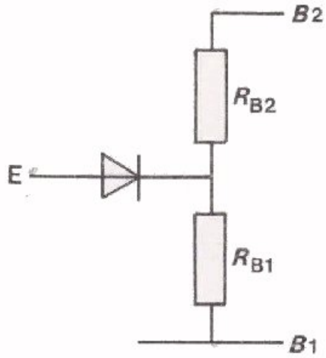
Een voorbeeld van deze weerstandsverandering: Een bepaalde U.J.T. heeft een R_{B1} van 4600Ω als $I_E = 0$ en een R_{B1} van 40Ω als $I_E = 50$ mA.

De doorgetrokken karakteristiek is die waarbij $U_{BB} = 10$ V.
De diode is gesperd zolang de emitterspanning kleiner is dan de deelspanning op E' (het punt achter de diode in het vervangingsschema). Deze deelspanning noemen we $\eta . U$. De piekspanning U_p in bovenstaande karakteristiek is de emitterspanning waarbij een stroom van emitter naar basisaansluiting B_1 gaat lopen. $U_p = \eta U + 0{,}7$ V.
De bij U_p behorende stroom I_p is meestal kleiner dan 25 µA.
Naarmate de stroom van emitter naar B_1 groter is, is de weerstand tussen E' en B_1 kleiner. De spanningsdeling $\frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} U$ verandert als R_{B1} verandert. Vandaar dat U_E kleiner kan worden terwijl toch de stroom door de emitter toeneemt. Voor grote stromen zijn de karakteristieken aan elkaar gelijk. Dat is ook logisch want als R_{B1} maar enkele tientallen ohms bedraagt is de spanningsdeling $\frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} U$ toch bijna nul geworden.

Opmerking: De weerstand R_{B2} verandert ook enigszins als er emitterstroom gaat lopen. Deze verandering is echter erg klein.

OPDRACHT

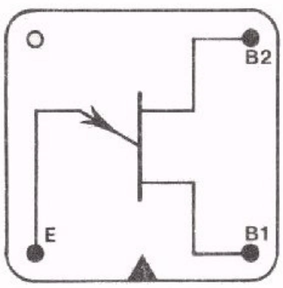
We hebben tot nu toe verteld dat een grote weerstandsverandering optreedt als van emitter n-ar basisaansluiting B_1 een stroomverandering van 0 naar bijvoorbeeld 50 mA wordt veroorzaakt. Veel overtuigender is het natuurlijk als U dit zelf kunt waarnemen.



Voordat we de U.J.T. in een schakeling gaan meten, proberen we eerst iets te weten te komen over R_{B1} en R_{B2}.

- Regel de elektronische universeelmeter af voor weerstandsmeting in de stand "x 1 kΩ".
- Meet de weerstand tussen E en B_1, E en B_2 en tussen B_1 en B_2. Noemen we de vervangingsweerstand van de diode R_v dan meet U dus:

UJT
2N2646



$R_v + R_{B1}$ = [ ] Ω

$R_v + R_{B2}$ = [ ] Ω

R_{BB} = [ ] Ω

- Meet vervolgens de voorwaartsweerstand van een siliciumdiode zoals bijvoorbeeld een BY206.

R_v = [ ] Ω

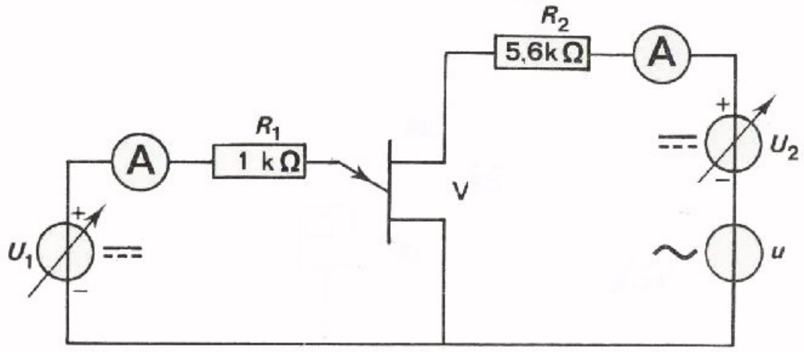
R_{B1} = [ ] Ω R_{B2} = [ ] Ω $R_{B1} + R_{B2}$ = [ ] Ω

Conclusies:

Een gelijkstroommeting als hiervoor bedoeld levert geen betrouwbare gegevens over R_{B1} en R_{B2}. U kunt alleen concluderen dat de weerstanden stroomafhankelijk zijn en dat R_{B1} groter is dan R_{B2}. Weerstand R_{BB} is niet gelijk aan $R_{B1} + R_{B2}$.

Vervolgens gaan we over tot de eigenlijke meting aan de U.J.T. Voer deze meting zo nauwkeurig mogelijk uit, de meetgegevens worden namelijk nog gebruikt voor het trekken van conclusies. Hierbij moeten soms twee meetresultaten van elkaar afgetrokken worden; een kleine meetfout heeft dan al gauw grote gevolgen.

OPDRACHT:



- Bouw bovenstaande schakeling met de U.J.T. 2N2646.
- Houd U_1 = 0 V en u = 0 V. Regel U_2 op tot I_{B2B1} = 1 mA.
- Meet de spanning over R_2 met de elektronische universeelmeter en de stroom door R_2 met een gewone universeelmeter.

U_{R2} = [ ]

Met deze meting hebt U meteen R_2 gemeten. Noteer deze waarden.

R_2 = [ ]

- Meet de gelijkspanning tussen B_1 en B_2 van de U.J.T.

U_{BB} = [ ]

- Bereken de weerstand tussen de basisaansluitingen B_1 en B_2.

R_{BB} = [ ]

- Regel vervolgens de wisselspanning op tot U_t = 4 V, controleer dit met de oscilloscoop. f = 1000 Hz.
- Laat nu U_1 langzaam toenemen tot de maximale waarde U_p wordt bereikt. Meet met de oscillscoop deze maximale spanning tussen emitter- en basisaansluiting B_1. Herhaal de meting enkele malen voordat u de gevonden waarde noteert.

U_p = [ ]

- Neem een gewone universeelmeter op in de emitter-leiding teneinde de stroom te kunnen meten.
- Voer U_1 op totdat U_p bereikt is en de emitterstroom plotseling toeneemt.
- Meet deze emitterstroom. I_E =

- Meet de verhouding tussen de wisselspanningen over R_2 en over R_{BB} met de elektronische universeelmeter.

$$\frac{u_{R2}}{u_{RBB}} =$$

- Meet nauwkeurig de gelijkstroom die via R_2 loopt. Deze stroom wordt gegeven door $I_{B1B2} = \frac{U_{R2}}{R_2}$. I_{B1B2} =

- Meet de gelijkspanning over R_{BB}.

$$U_{RBB} =$$

● Uit de gelijkspannings- en gelijkstroommeting volgt

$$I_E \cdot R_{B1} + I_{BB} \cdot R_{BB} = U_{BB}$$

I_{BB}, R_{BB} en U_{BB} zijn bekend evenals I_E zodat R_{B1} berekend kan worden.

$R_{B1} = \frac{1}{I_E} (U_{BB} - I_{BB} \cdot R_{BB}) =$ ☐

$R_{B1} =$ ☐

● Uit $R_{BB} = R_{B1} + R_{B2}$ volgt $R_{B2} =$ ☐

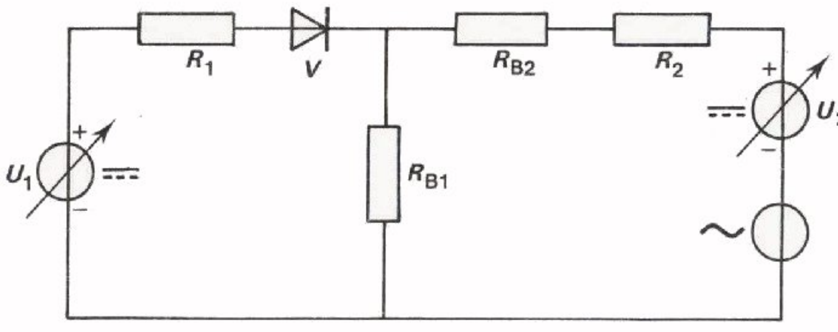
● Hoewel R_{B1} en R_{B2} in stroomloze toestand niet bekend zijn is toch wel duidelijk gebleken uit de metingen dat:

- R_{B1} en R_{B2} beide varieren onder invloed van I_E.
- R_{B1} meer varieert dan R_{B2}.

De gevonden waarden voor R_{B1} en R_{B2} zijn niet erg nauwkeurig bepaald. Een kleine fout in de meting van U_{BB} of I_{BB} heeft een relatief veel grotere fout in R_{B1} tot gevolg.

Conclusies:

De hiervóór bepaalde gegevens worden vervolgens gebruikt voor de berekening van R_{B1} en R_{B2}.



● Uit de verhouding van de wisselspanningen over R_2 en R_{BB} volgt de waarde van R_{BB} als R_2 bekend is.

$\frac{R_2}{R_{BB}} =$ ☐ ➤ $R_{BB} =$ ☐ $=$ ☐ Ω

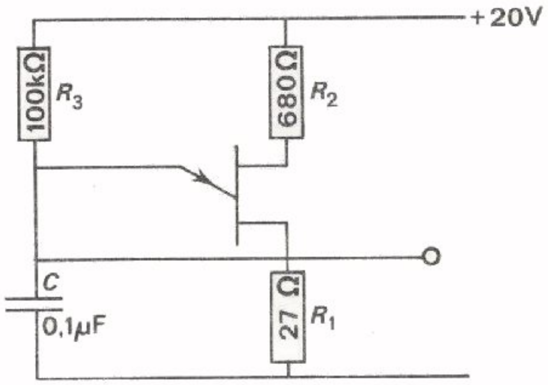
TOEPASSINGEN VAN DE U.J.T.

De U.J.T. kent vele toepassingen. De bekendste zijn:

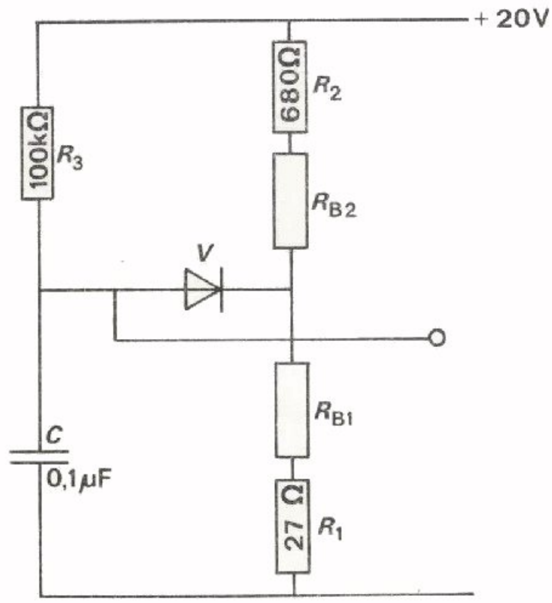
- de zaagtandspanninggenerator
- de stuurimpulsschakeling
- de frequentiedeler
- de multivibrator
- de one-shot of monostabiele multivibrator
- de spanning naar frequentie-omzetter
- een triggerschakeling

De vierde en vijfde schakeling in bovenstaande opsomming zijn schakelingen uit de digitale techniek. Voorbeelden hiervan komt U tegen in het D-deel van deze cursus; dan echter niet met U.J.T.'s.
Alle bovengenoemde schakeling kunnen ook zonder U.J.T.'s gemaakt worden.
De U.J.T. biedt soms voordelen.
We bespreken de zaagtandspanninggenerator.

De zaagtandspanninggenerator

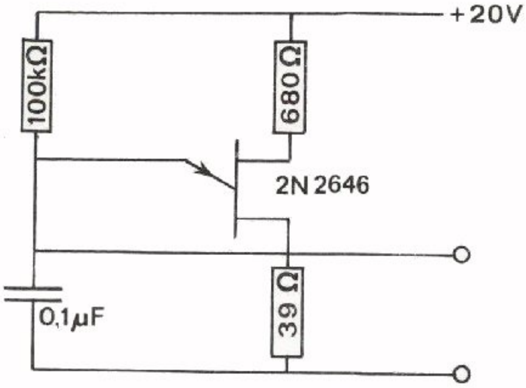


Dit is het principeschema van een zaagtandspanninggenerator. Daaronder is het schema opnieuw getekend met het vervangingsschema van de U.J.T. in de plaats van de U.J.T.

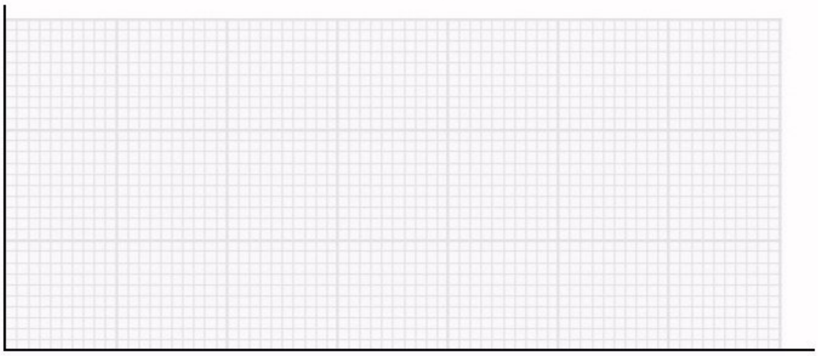


De condensator wordt opgeladen via de weerstand van 100 kΩ. Zodra de condensatorspanning hoger wordt dan $U_p + U_{R1} \approx U_p = \eta.20 + 0,7$ zal een emitterstroom gaan lopen die de condensator snel ontlaadt; de condensatorspanning daalt dan zover dat geen emitterstroom in stand gehouden kan worden. De diode spert weer.
We gaan deze schakeling op het paneel beproeven.

OPDRACHT



- Bouw deze schakeling op Uw oefenpaneel.
- Schets de spanning die U over de condensator meet op onderstaand m.m.papier.



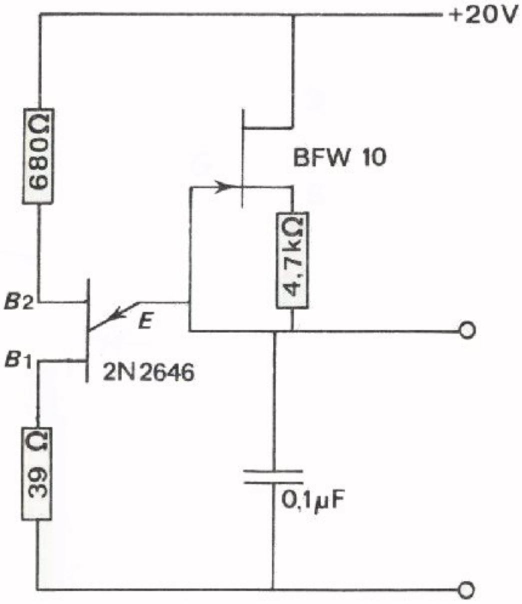
Wat constateert U ten aanzien van de lineariteit van de verkregen zaagtandspanning?

____

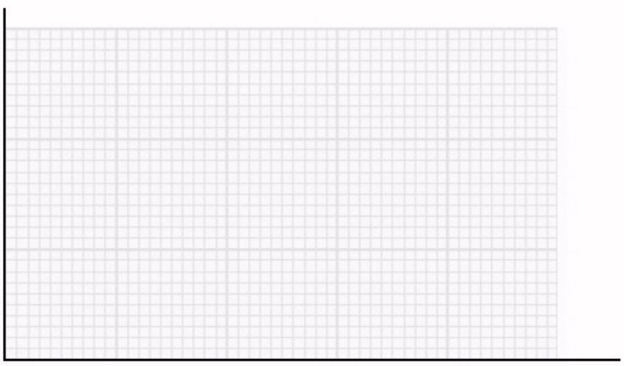
____

____

Een verbeterde lineariteit krijgen we als we met een goede stroombron de condensator opladen. Hiertoe maken we gebruik van een FET, die eerder in de lessen B221 en volgende besproken zijn.



- Bouw deze schakeling met de BFW10 als stroombron en de UJT 2N2646.
- Schets de condensatorspanning op onderstaand m.m.papier.



- Met deze schakeling is het eenvoudig de stand-off ratio η te bepalen. We weten immers dat de emitter stroom gaat voeren als de spanning groter wordt dan $\eta . U + 0{,}7$ V.
- Sluit de weerstand van 39Ω in de B_1-leiding kort.
- Meet de maximale waarde van de emitter-spanning.

U_{Emax} = [ ]

- Meet de spanning U_{BB} U_{BB} = [ ]

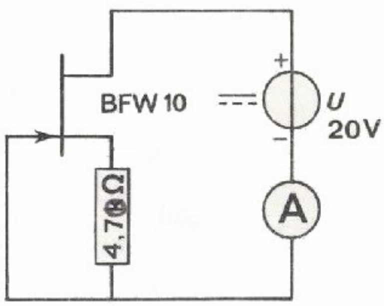
- Hoe groot is nu de nd-off ratio η?

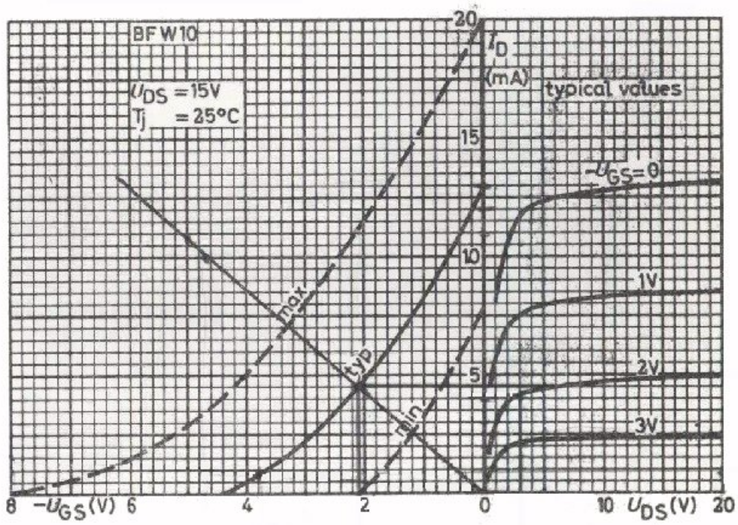
η = [ ]

OPMERKING

Weliswaar bepalen we niet de stand-off ratio in stroomloze toestand. Door R_{B1} en R_{B2} loopt echter dezelfde stroom zodat de verhouding wel dezelfde blijft.

OEFENING





Hierboven is de karakteristiekenbundel van de FET BFW-10 gegeven. Teken daarin de weerstandslijn voor R_s = 470 Ω.

- Hoe groot is de stroom die de ampèremeter in de schakeling moet aanwijzen? (volgens de "typische" karakteristiek).

I_D = [ ]

- Tot welke waarde neemt I_D af, als U_{DS} tot 3 V verlaagd wordt?

I_D = [ ]

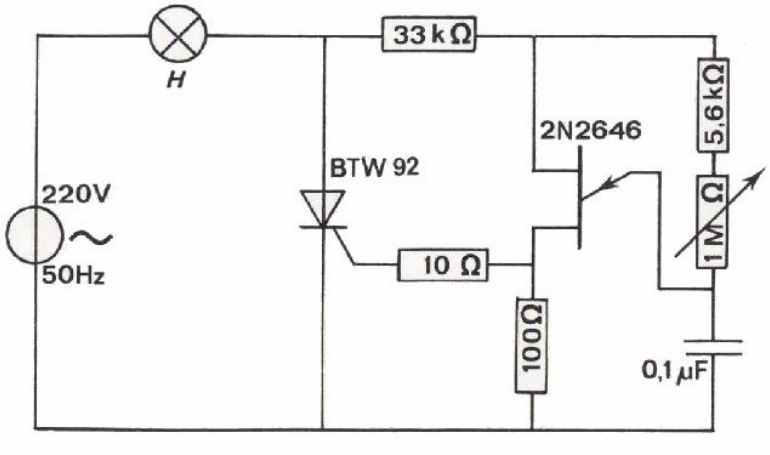
DE STUURPULSSCHAKELING MET DE U.J.T.

Als tweede in het rijtje toepassingen hebben we de stuurimpulsschakeling genoemd. Evenals de diac kan de U.J.T. korte stroomimpulsen leveren, waarmee thyristors of triacs kunnen worden gestuurd.
Er zijn echter enkele opvallende verschillen tussen de diac en de U.J.T.
Deze zijn:

- de stroomimpulsen die een U.J.T. kan leveren zijn kleiner dan 100 mA. Een diac kan impulsen van 1 à 2 A leveren.
- een U.J.T. kan slechts in één richting impulsen leveren, een diac daarentegen in twee richtingen. Een gevolg hiervan is dat voor het sturen van een triac twee U.J.T.'s nodig zijn, of één diac nodig is. Voor het sturen van een thyristor is één U.J.T. voldoende; voor deze sturing kan een diac tezamen met een diode worden gebruikt.
- een U.J.T. kan goed gebruikt worden voor het maken van triggerschakelingen zoals bijvoorbeeld in een oscilloscoop worden toegepast.
  Een diac is voor deze toepassingen ongeschikt.

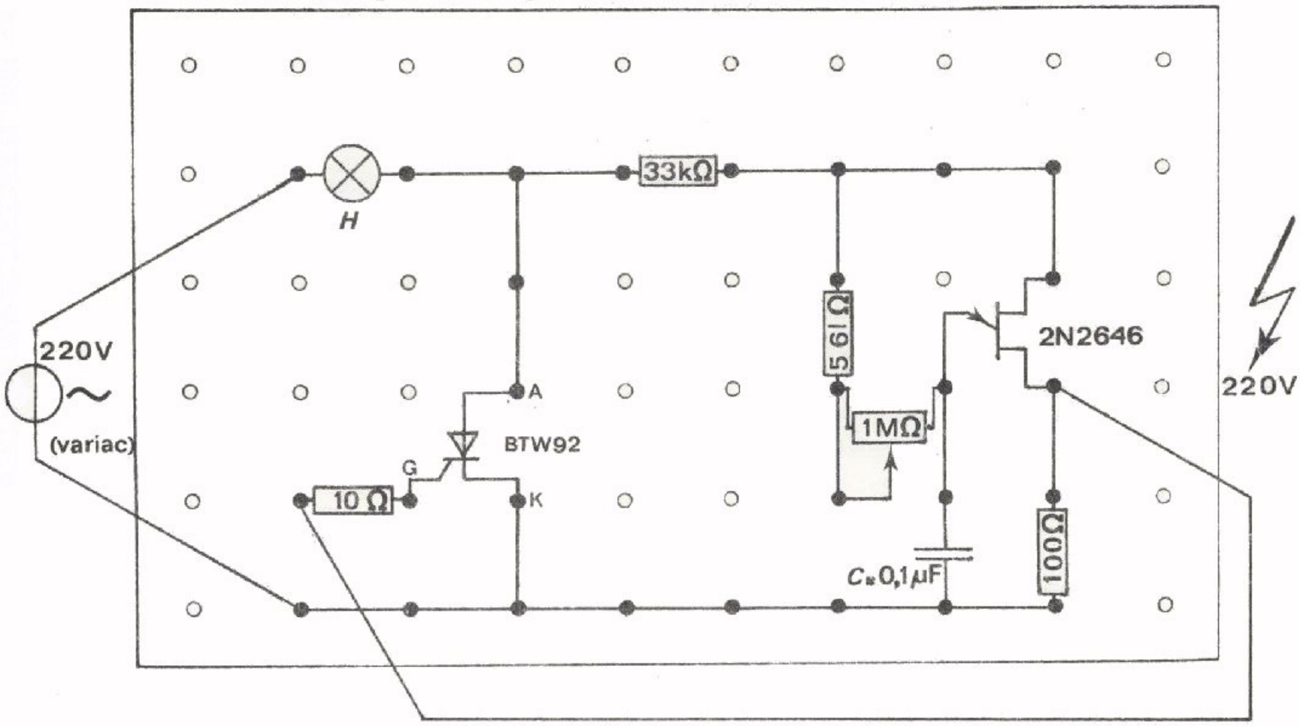
VERMOGENSREGELING

In een volgende opdracht gaat U het vermogen regelen dat aan een lamp geleverd wordt.



Dit is de schakeling die gebruikt wordt.
De weerstand van 33 kΩ is in het circuit opgenomen om te voorkomen dat de U.J.T. defect raakt als een topspanning van ongeveer 310 V wordt aangesloten en de lamp H niet brandt; via deze weerstand loopt de basisstroom van de U.J.T. waardoor een spanningsval over de weerstand ontstaat.

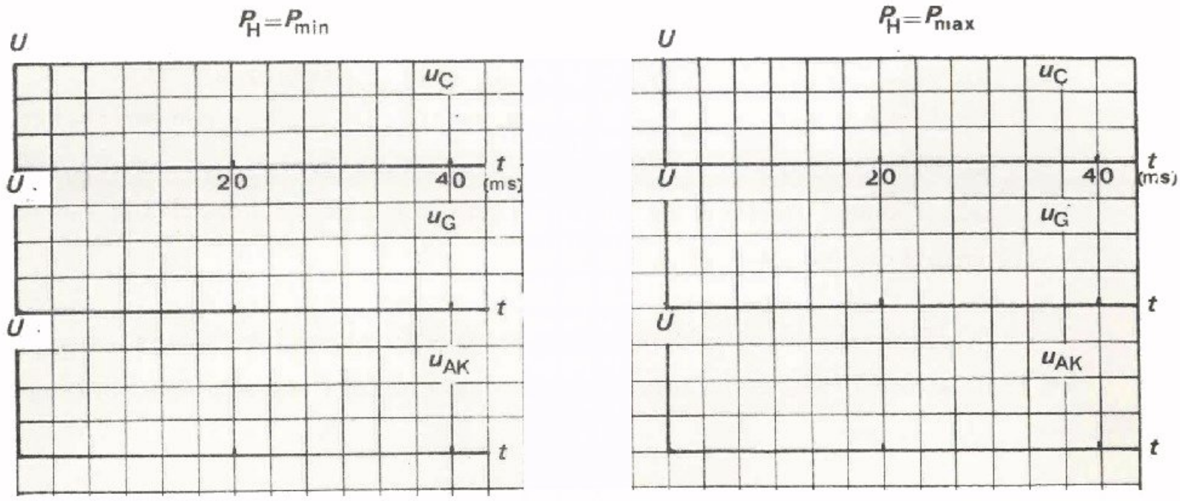
OPDRACHT - Bouw de schakeling van blad B235.11 op uw paneel. Gebruik de hieronder gegeven bouwtekening. Sluit de schakeling aan op een variac met gescheiden wikkelingen. Pas op!



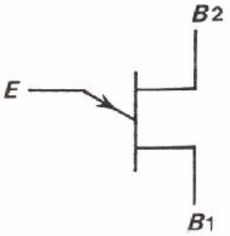
- Meet de maximale piekspanning voor en achter de weerstand van 10Ω en bepaal daaruit de maximale waarde van de gate-stroom van de thyristor. Draai hiervoor het begin van het beeld naar het midden van het scherm en zet de tijdbasis op ongeveer 10 µs/div. Zorg ervoor dat weinig licht op het scherm van de oscilloscoop valt.

$I_{G(MAX)}$ = [mA]

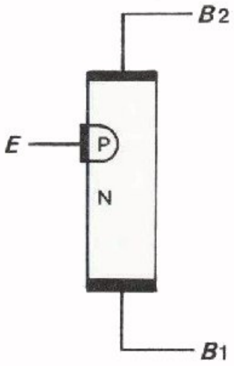
Schets op onderstaand grafiekenpapier de spanningen u_C, u_G en u_{AK} van de thyristor, telkens voor de potentiometerstand waarbij de lamp elke periode juist even vermogen krijgt toegevoerd en de potentiometerstand waarbij het maximale vermogen aan de lamp geleverd wordt.



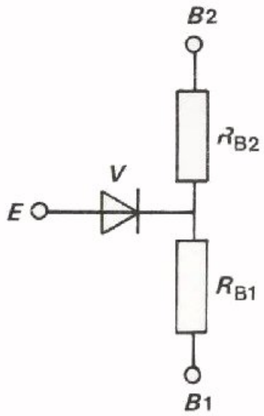
SAMENVATTING



Dit is het symbool van de uni-junction transistor, afgekort de U.J.T. genoemd.

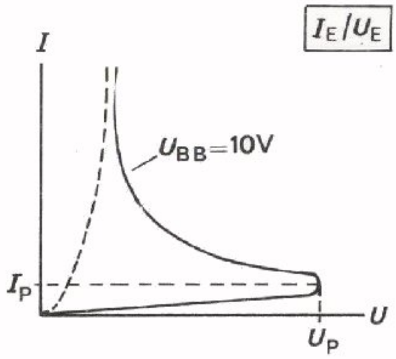


De U.J.T. wordt gevormd door een stukje N-silicium waarop een diodeovergang is aangebracht. Het basismateriaal heeft 2 aansluitingen B_1 en B_2, de PN overgang heeft één aansluiting E.



Het vervangingsschema van de U.J.T. bevat twee weerstanden R_{B1} en R_{B2} en een diode V.

De verhouding $\frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{R_{B1}}{R_{BB}} = \eta$ (eta), als geen emitterstroom door de U.J.T. vloeit. η wordt de stand-off ratio genoemd.



De karakteristiek van de U.J.T. kent een drempelspanning U_p, die overschreden moet worden voordat een stroom van één enkele tientallen milli-ampères door de emitter gaat lopen. Deze piekspanning U_p wordt bepaald door de stand-off ratio η en de voorwaartsspanning van de diode V, t.w. $U_p = \eta U + 0{,}7$ V.

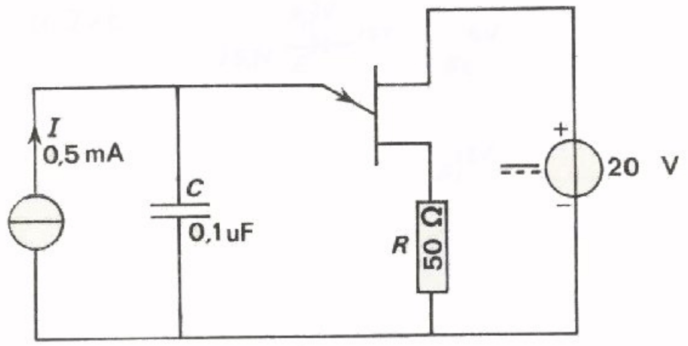
De stroom I_p is meestal kleiner dan 25 µA.

In deze les hebt u gemeten aan de U.J.T., waarbij u gezien hebt dat ${}_{B1}$ van enkele kΩ's bij $I_E = 0$ afnam tot ca. 100 Ω bij een emitterstroom van enkele milli-ampères. U hebt in die meting gezien dat ook R_{B2} kleiner wordt onder invloed van de emitterstroom. Deze verandering was echter relatief veel kleiner.

Als voorbeelden van schakelingen waarin een U.J.T. wordt toegepast, hebt U gemeten aan een zaagtandspanningsgenerator en aan een vermogenregeling.

NAAM:

KLAS:



Dit is het schema van een zaagtandspanningsgenerator. De condensator wordt geladen met een constante stroombron van 0,5 mA. Van de U.J.T. is gegeven

η = 0,75; R_{BB} = 10 kΩ (als I_E < 1 mA).

R_{BB} = 975Ω (als I_E > 1 mA)

R_{B1} = 50Ω (als I_E > 1 mA)

$U_E = 0{,}7 + \eta \cdot U = U_P$

- Hoe groot is de spanning op de condensator op het moment dat de ontlading begint? Denk ook aan de stroom door R!

$U_{C(MAX)}$ =

- Hoe groot is de spanning op de condensator op het moment dat de emitterstroom plotseling afneemt tot bijna 0?

$U_{C(MIN)}$ =

- Hoe lang duurt het laden van de condensator van U_{Cmin} naar U_{Cmax}?

$\Delta U = 15{,}7 - 2{,}65 = 13{,}05\,V$

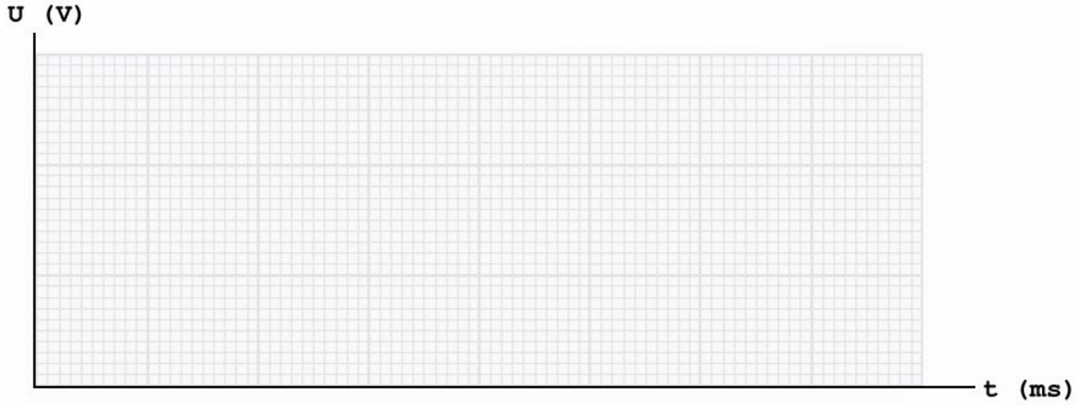
$I \times t = C \times U$: $t = \frac{C \times U}{I} = \frac{0{,}1.10^{-6} \times 13{,}05}{0{,}5.10^{-3}} =$

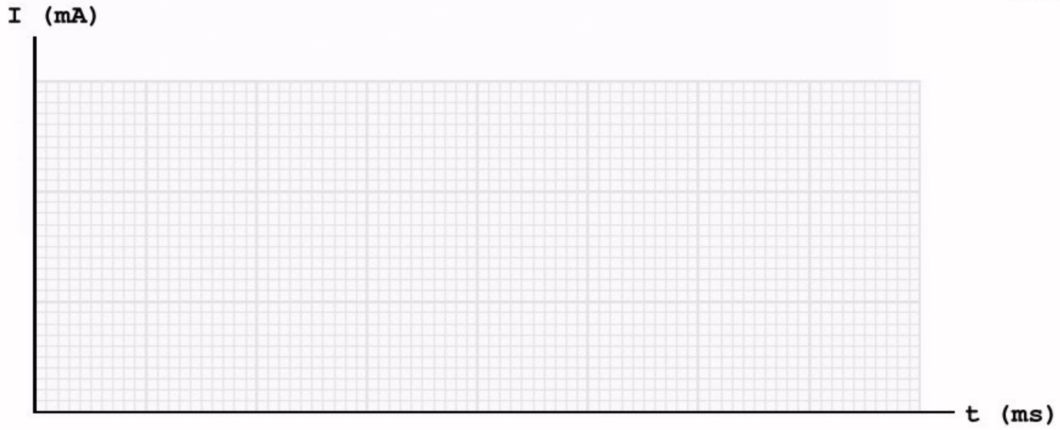
t =

- Als we aannemen dat het ontladen 0,13 ms vergt (bij constante ontlaadstroom) hoe groot is dan de frequentie van de opgewekte zaagtandspanning?

f =

- Schets van U_C en U_R het verloop in de tijd.



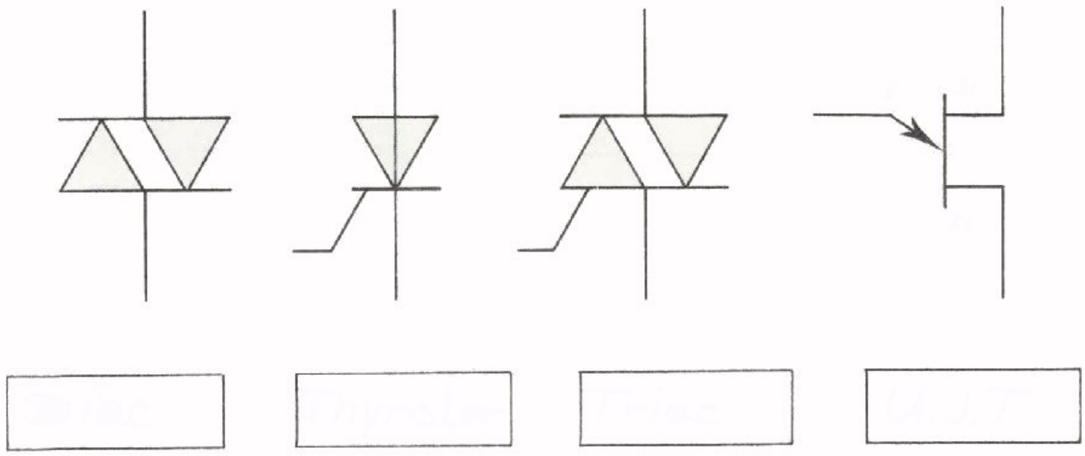


B 236

H E R H A L I N G

INLEIDING

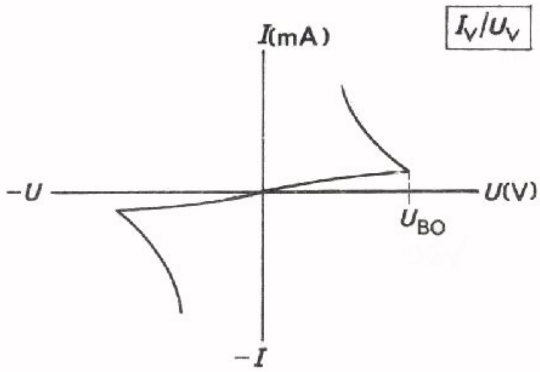
In deze les behandelen we nog eens de voornaamste eigenschappen van de diac, de uni-junction transistor, de thyristor en de triac. We geven U bovendien een aantal vragen, zoals U ze ook op de test krijgt.



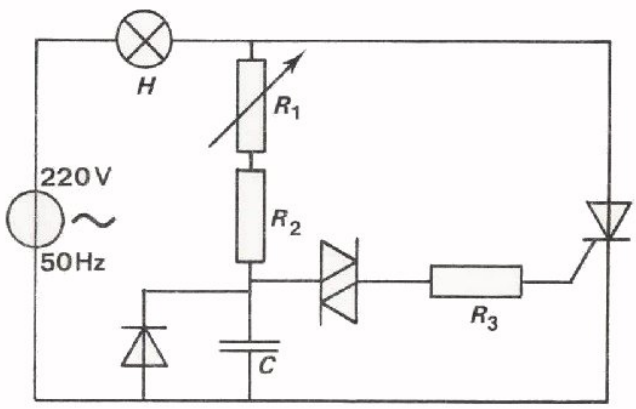
Dit zijn de componenten waarover deze herhaling gaat en die u in schakelingen hebt gebruikt. Geef de namen van deze componenten en die van de elektroden.

De thyristor of de triac wordt in combinatie met de diac gebruikt voor het tijd regelen van vermogen door bijvoorbeeld een lamp. Een groot voordeel van deze wijze van regelen is o.a. dat de regelschakeling zelf slechts weinig vermogen opneemt.

DE DIAC IN EEN REGELSCHAKELING



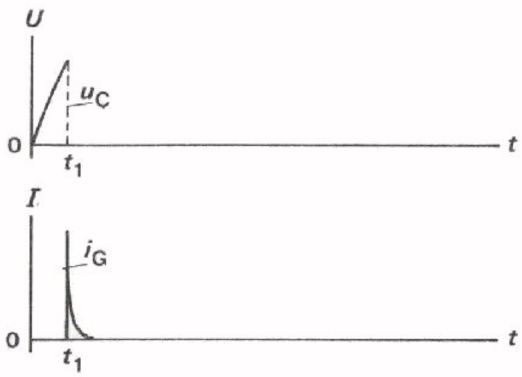
Dit is de karakteristiek van de diac. De diac wordt gebruikt voor het opwekken van impulsstroompjes. Deze worden gebruikt voor het geleidend maken van een thyristor of een triac.

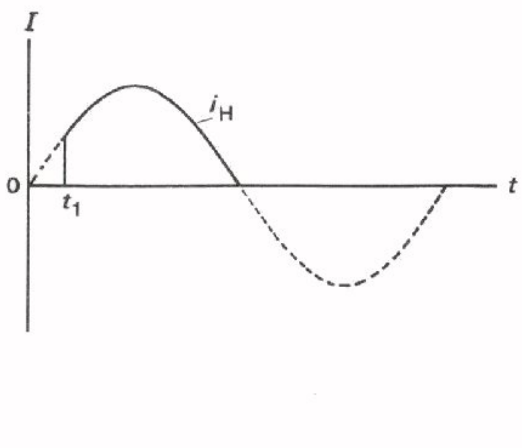


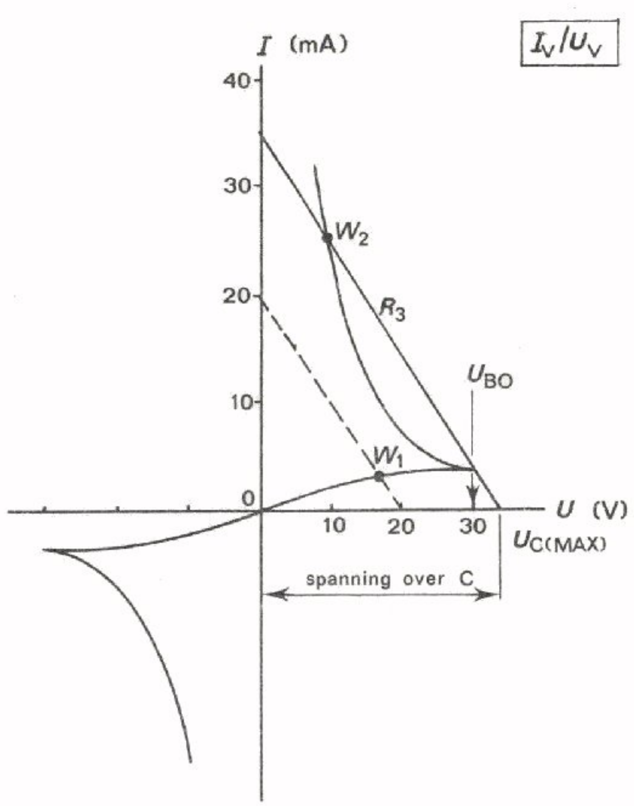
Dit is een eenvoudige schakeling waarin de diac wordt gebruikt.

De spanning over de condensator groeit aan tot U_{BO}. Is U_{BO} bereikt dan ontstaat een stroomimpuls door R_3. Is de stroomimpuls groot genoeg, dan wordt de thyristor geleidend. Er gaat stroom door de lamp lopen. De stroom blijft lopen tot het einde van de positieve periodehelft.

Gedurende een deel van de tijd wordt vermogen aan de lamp geleverd. Op deze manier regelt men vermogen door tijdsregeling.





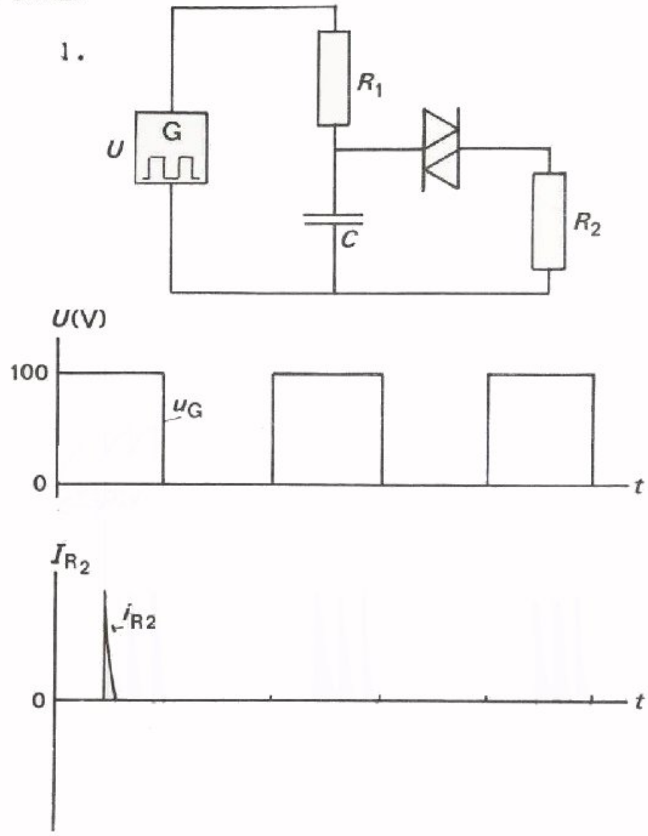


Hier is de karakteristiek van de diac nogmaals gegeven. Tevens is een belastinglijn voor de weerstand R_3 getekend. De instelling wordt bepaald door het snijpunt van deze belastinglijn met de karakteristiek; punt W_1 of W_2. Als de spanning over de condensator toeneemt, schuift de belastinglijn naar rechts. Voor een spanning iets hoger dan de doorslagspanning is een getrokken belastinglijn in de grafiek getekend. De instelling bevindt zich dan in punt W_2. U ziet dat de condensatorspanning moet oplopen tot iets meer dan U_{BO} voordat een impuls wordt afgegeven.

Het hier gegeven voorbeeld is enigszins overdreven. De getekende belastinglijn geldt voor R_3 = 1 kΩ. Ga dit na. In de praktijk is R_3 ongeveer 100 Ω. Dit betekent dat de condensatorspanning nauwelijks groter is dan U_{BO}. Ga dit na.

TEST UZELF

1.



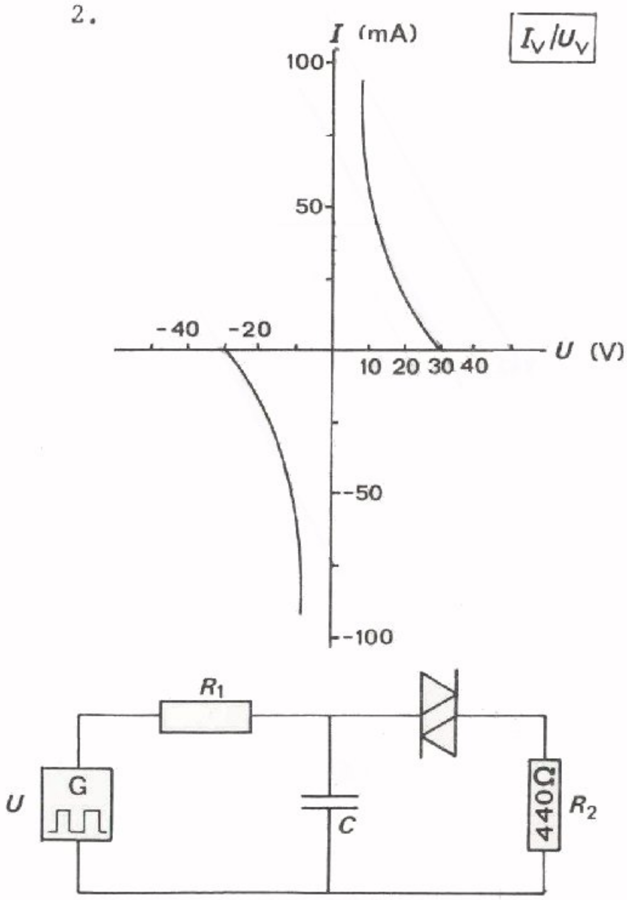
In deze schakeling is de diac aangesloten op een kanteelspanning, zoals hiernaast is getekend.

De spanning over de condensator loopt bij voldoende impulsbreedte op tot U_{BO}, (U_{BO} = 32 V).

Als U_{BO} is bereikt, ontstaat voor het eerst een impuls door R_2. Deze stroomimpuls ontlaadt C tot 16 V.

Schets het verdere verloop van de stroom door R_2.

2.



Dit is de karakteristiek van de diac: U_{BO} = 32 V.

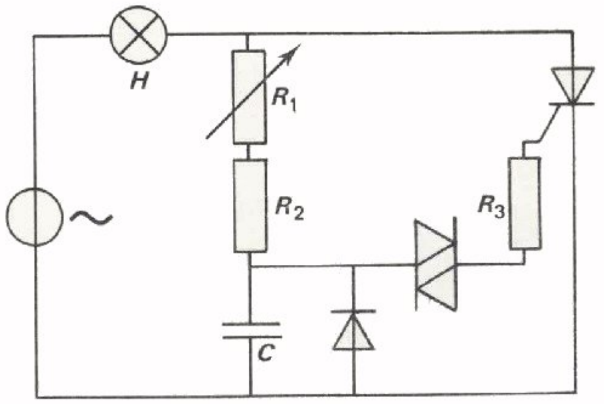
De spanning waarop de schakeling is aangesloten is een blokvormige wisselspanning met U_t = 50 V. De impulsbreedte is zodanig dat de condensator tot de topwaarde kan worden opgeladen.

Teken de belastinglijn(en) waarmee de instelstroom door R_2 kan worden bepaald.

Hoe groot is (zijn) die instelstroom (stromen)?

I_V =

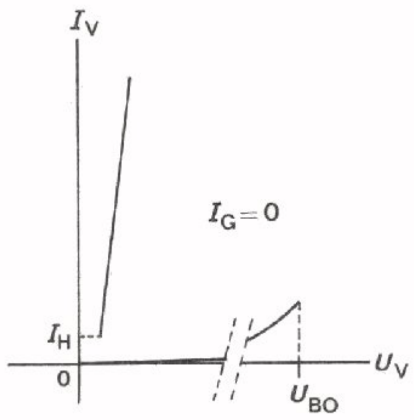
WERKING THYRISTOR



De thyristor in deze schakeling wordt geleidend door een stroomimpuls, die van de gate naar de kathode loopt.

Hieronder ziet u de karakteristiek van de thyristor voor een zwevende gate, (I_G = 0).

De doorslagspanning U_{BO} bedraagt enkele honderden volt. De karakteristiek is daarom met een onderbreking getekend.

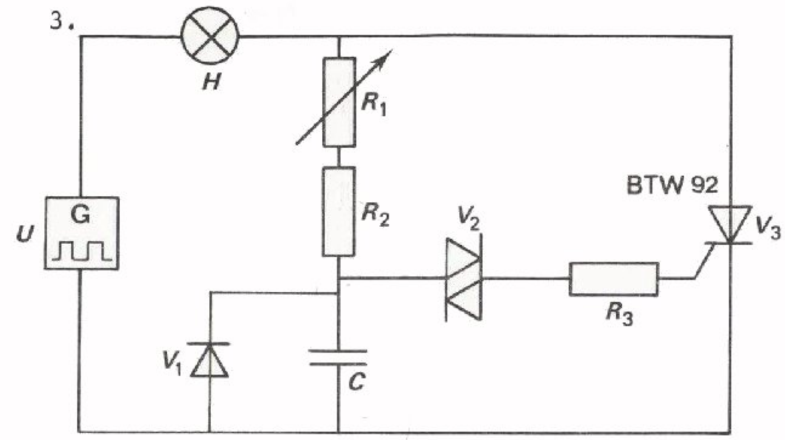


Door een gate-stroom te sturen door de thyristor wordt het horizontale deel van de karakteristiek korter. U_{BO} verschuift naar links als I_G groter wordt. Bij I_G = 25 mA is U_{BO} nog slechts ongeveer 6 V. De thyristor wordt geleidend gemaakt door een stroomimpuls van voldoende grootte aan de gate toe te voeren. Zodra de thyristor geleidend is, zit men op het linker deel van de karakteristiek. De thyristor blijft geleidend zolang de stroom groter is dan de houdstroom I_H, ($I_H \approx 10$ mA).

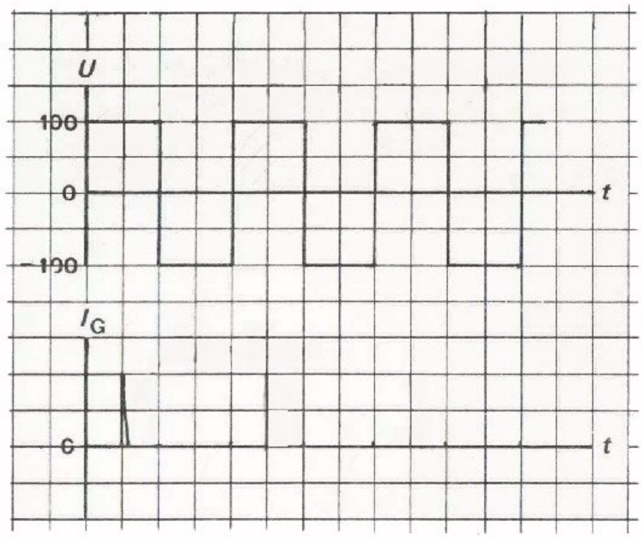
De hier gegeven schakeling is een "halve periode"-regeling.

TEST UZELF

3.



Met deze schakeling gaan we het vermogen regelen dat aan een lamp H wordt toegevoerd. De spanningsbron levert een symmetrische blokspanning.



De eerste stroomimpuls komt na ¼ periode.
De condensator verliest daardoor de helft van zijn lading.
Schets het verdere verloop van i_G.

Wat is de functie van de diode V_1?

V_1 dient voor

Als de lamp brandt loopt er een stroom $I_H = 1$ A; over de thyristor staat dan 1 V.

Hoe groot is het gemiddelde vermogen dat de thyristor opneemt?

P_{V3} =

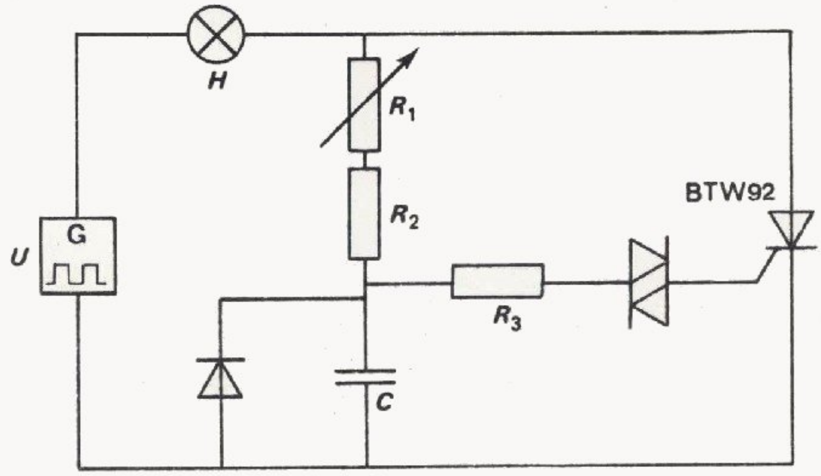
Hoe groot is het gemiddelde vermogen dat aan de lamp wordt geleverd?

P_H =

Hoe groot is het rendement η?

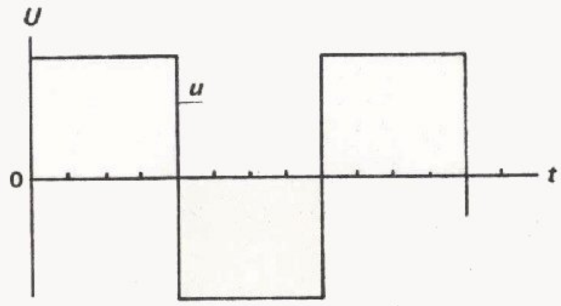
$$\eta = \frac{P_{uit}}{P_{in}} =$$

4.



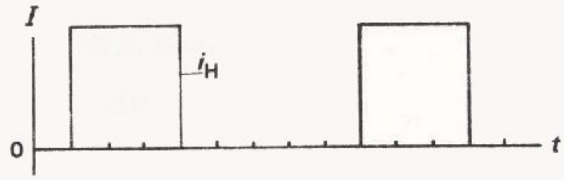
Door regeling van R_1 wordt het vermogen dat aan H wordt toegevoerd gewijzigd. Verwaarloos het vermogen dat in de regeling gaat zitten.

Geef bij onderstaande figuren telkens het vermogen dat aan H wordt toegevoerd.

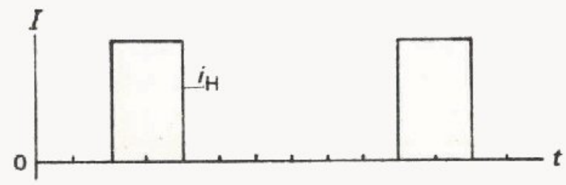


Dit is de ingangsspanning. Als deze spanning direct op de lamp wordt aangesloten, geldt

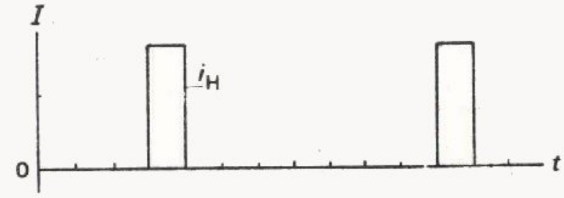
$$P_H = P_{max} = 200 \text{ W}.$$



$P_H =$

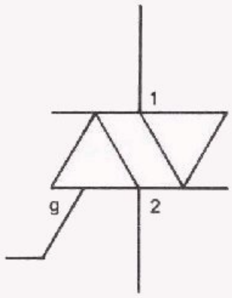


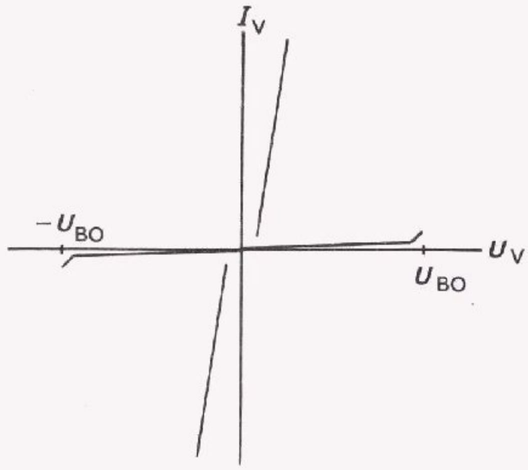
$P_H =$



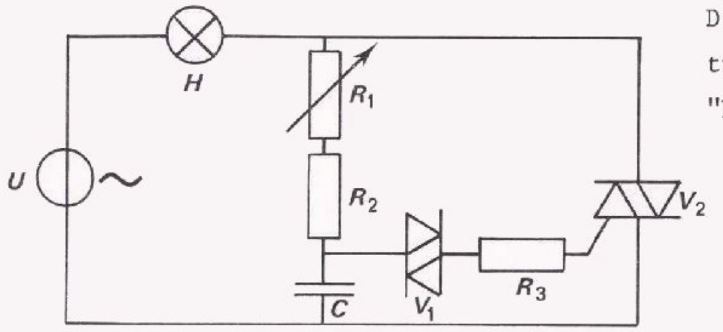
$P_H =$

DE TRIAC

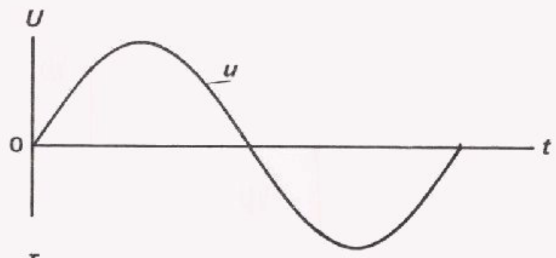




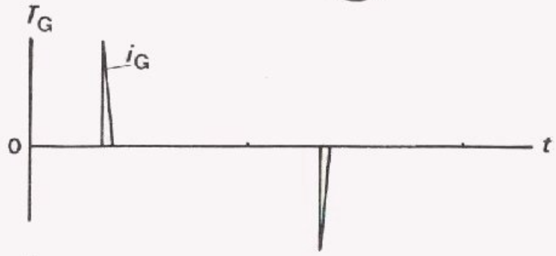
De triac is te vergelijken met twee in tegenovergestelde richting parallel geschakelde thyristors. De gates zijn samengevoegd tot één elektrode. Deze elektrode moet met behulp van een spanning tussen gate en elektrode 1 worden gestuurd.



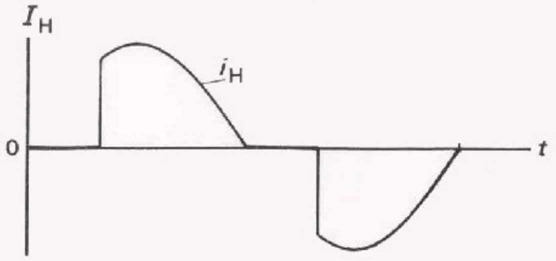
Dit is de schakeling waarin de triac wordt gebruikt. Het is een "hele periode"-regeling.



De positieve en de negatieve impulsstroom liggen even ver na het begin van de halve periode.



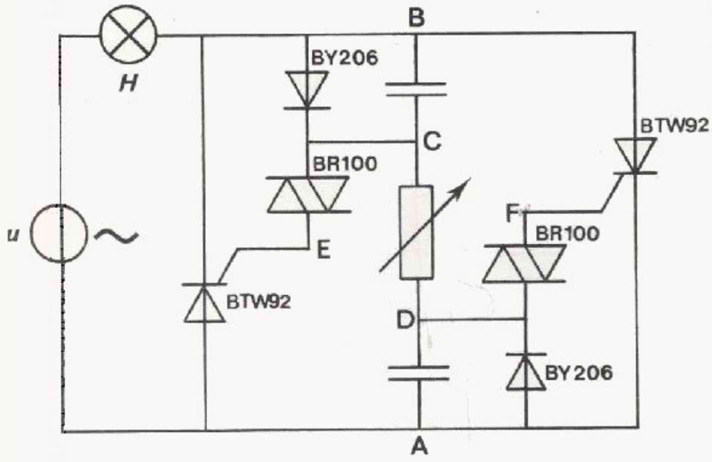
Tussen gate en elektrode 1 kan zowel positieve als negatieve stroom lopen.



Ook de hoofdstroom kan zowel positief als negatief zijn.

TEST UZELF

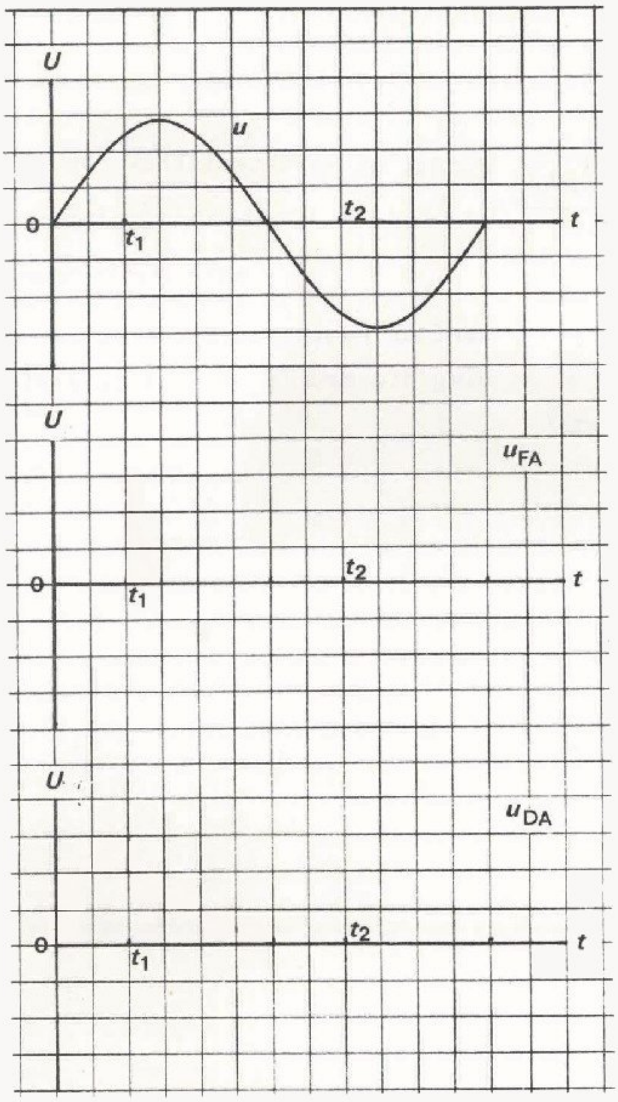
5.

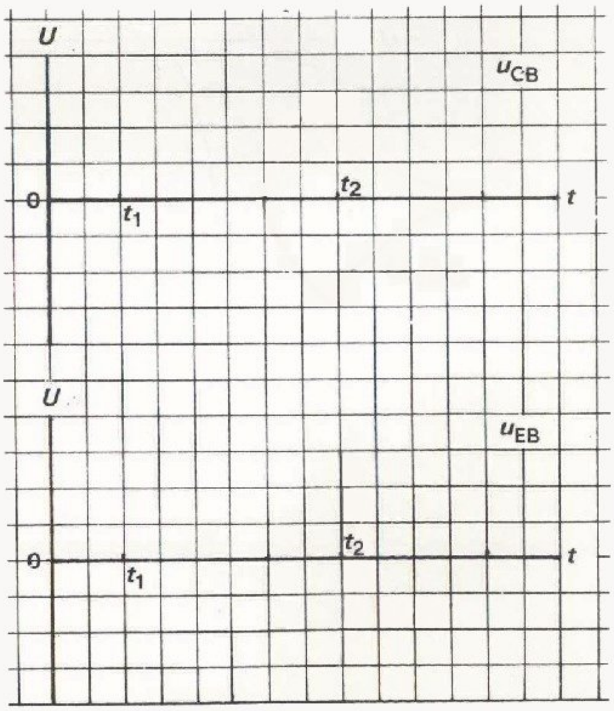


Dit is een schakeling voor volledige perioderegeling.

Schets in de grafieken de spanningen, die u met de oscilloscoop meet tussen de punten: FA, DA, CB en EB.

Dit is de voedingsspanning van de schakeling. Met t_1 en t_2 zijn de momenten aangegeven waarop stroom door de lamp H gaat lopen.





6. Neem de schakeling van vorig blad en beantwoord de volgende vragen.
Langs welke weg (via elk der componenten) wordt de condensator geladen die tussen de punten D en A is aangesloten?

Langs [ ]

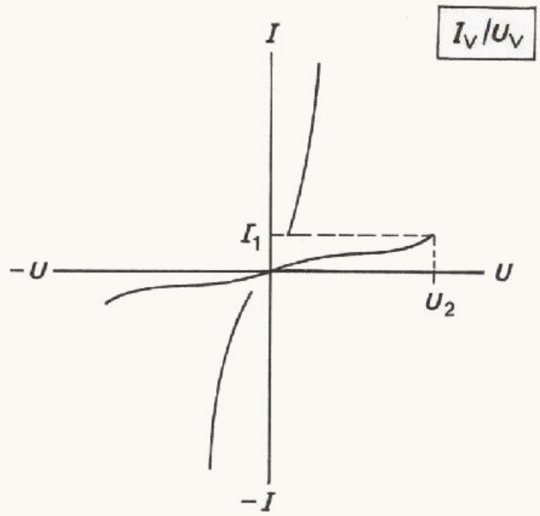
Wordt D positief of negatief ten opzichte van A?

D wordt [ ] t.o.v. A.

Welke funktie(s) hebben de dioden BY206?

De BY206 dienen om [ ]

7.



Dit is de karakteristiek van een

[ ]

Geef de namen van de stroom en spanning die met I_1 en U_2 zijn aangegeven.

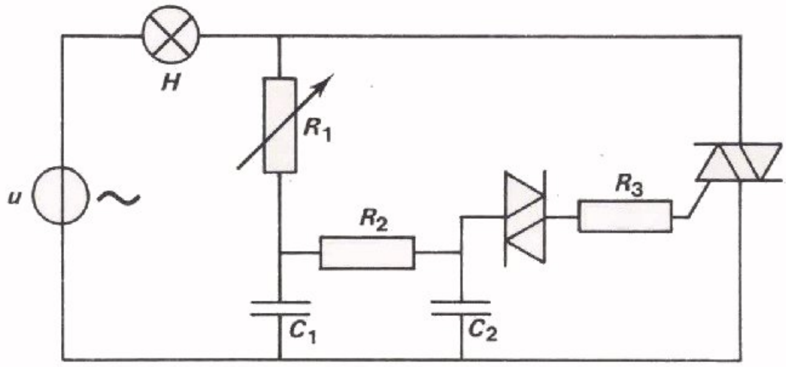
I_1 = [ ]

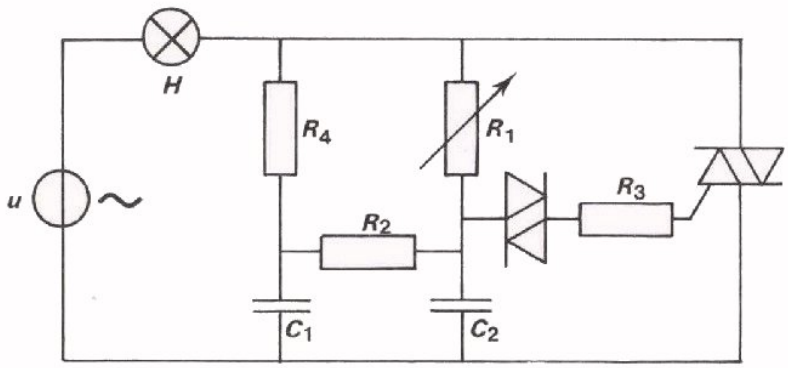
U_2 = [ ]

HYSTERESE

De met een diac gestuurde schakelingen hebben last van hysterese. Hysterese is het verschijnsel dat bij heen- en terugregelen verschillen optreden. Bij de vermogensregeling geeft de triac of thyristor die gesperd geweest is plotseling veel meer vermogen door aan de lamp, dan het minimale vermogen dat kan worden geleverd. De lamp die geregeld wordt, licht vrij fel op als hij "uit" geweest is. Van de lamp die aan is kan de lichtsterkte tot nauwelijks zichtbaar worden teruggeregeld.
Het hysterese-effect is bijvoorbeeld hinderlijk wanneer in een verduisterde bioscoopzaal de verlichting langzaam moet worden opgevoerd.
Hieronder volgen twee schakelingen waarmee het hysterese-effect bij vermogensregeling nagenoeg verdwijnt.

R_2 en C_2 zijn aan de oorspronkelijke schakeling toegevoegd.





C_1, R_2 en R_4 zijn toegevoegd.

In beide schakelingen levert C_2 de stroom die in de diac en de gate van de triac loopt. We hebben deze schakelingen niet in detail behandeld. Er wordt niet van u verlangd dat u ze kunt verklaren.

TEST UZELF

Gebruik bij beantwoording van volgende vragen de *geheugensteun*.

8. Een BTY 95 - 700 R is een

   De maximaal toegelaten sperspanning is

   R betekent

9. Een BR 100 is een

10. Een BT 100 A - 500 R is een

    100 A betekent

    500 betekent

    R betekent

VOOR- EN NADELEN

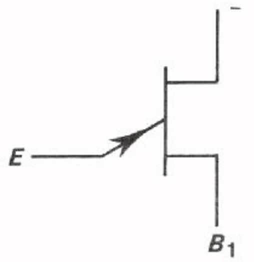
Thyristors en triacs hebben de volgende voordelen bij gebruik in vermogensregelingen.

- Ze nemen een klein vermogen op in schakelingen waarmee grote vermogens worden geregeld. Het rendement η is groot.
- De topwaarde van de geregelde stroom of spanning is constant als het vermogen van P_{max} tot $\frac{1}{2}$ P_{max} wordt geregeld.
- Een regelschakeling met thyristors of triacs is klein; hij neemt veel minder ruimte in dan andere regelingen, (serieweerstand of variac).
- Ze zijn goedkoop in vergelijking met andere regelschakelingen.
- Een schakelaar gecombineerd met een triac of thyristor kan op grote afstand een grote stroom in en uitschakelen.
- Wordt behalve een triac ook een schakelaar gebruikt, dan kan een kleine stroom door de schakelaar een grote stroom door een belasting in- en uitschakelen. De kleine schakelaar met thyristor tezamen is meestal goedkoper dan een sterkstroom-schakelaar.

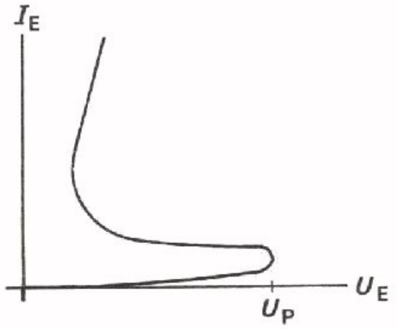
Tegenover de grote voordelen staan enige nadelen.

- Thyristorschakelingen moeten worden voorzien van een netfilter om te sterke storingen op radio en T.V. te voorkomen.
- Thyristor en triac schakelingen zijn ingewikkelder dan andere regelschakelingen, zoals weerstands- en variac regelingen.

DE UNIJUNCTION TRANSISTOR

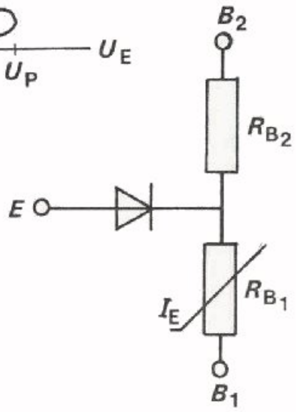


Dit is het symbool van de U.J.T.
De drie aansluitingen zijn: basis B_1, basis B_2 en emitter E.



Dit is de stroom-spanningskarakteristiek van emitter-basisovergang van de U.J.T.

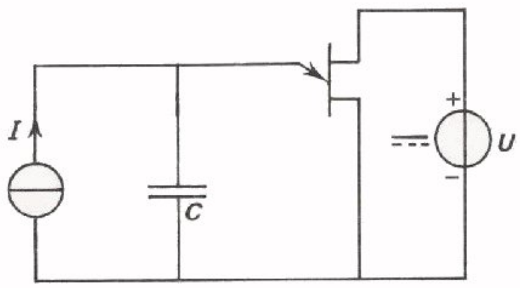
Zodra de emitterspanning groter is dan U_P neemt de stroom door emitter-basis-overgang sterk toe. Als gevolg hiervan daalt de weerstand R_{B1}.



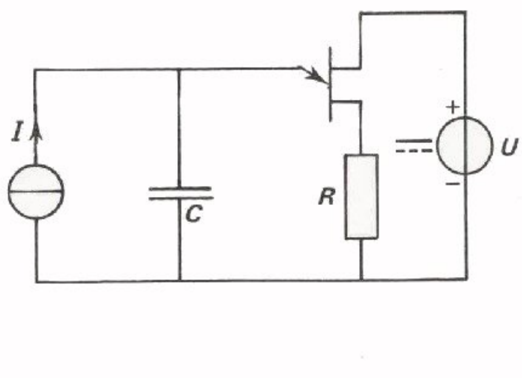
Uit het vervangingsschema van de U.J.T. zien we dat de diode, of PN overgang de basisweerstand verdeelt in een stuk R_{B2} en een stuk R_{B1}.

De verhouding $\dfrac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$ wordt η genoemd.

De piekspanning U_P wordt gegeven door $U_P = \eta \cdot U + 0{,}7$ V. Met U wordt dan de voedingsspanning bedoeld, die op de U.J.T. tussen B_2 en B_1 is aangesloten.

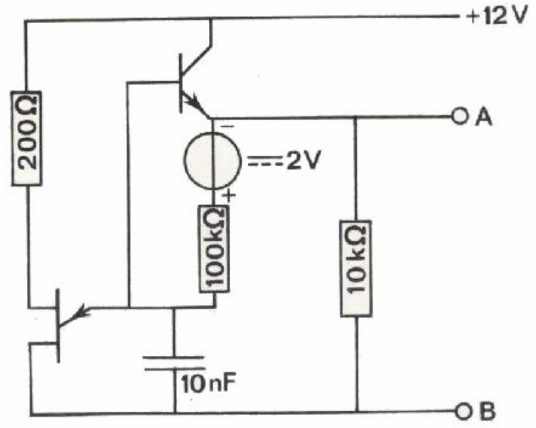


De U.J.T. kent vele toepassingen; één ervan is de zaagtandspanninggenerator waarbij een condensator die via een stroombron wordt opgeladen, via de U.J.T. telkens wordt ontladen.



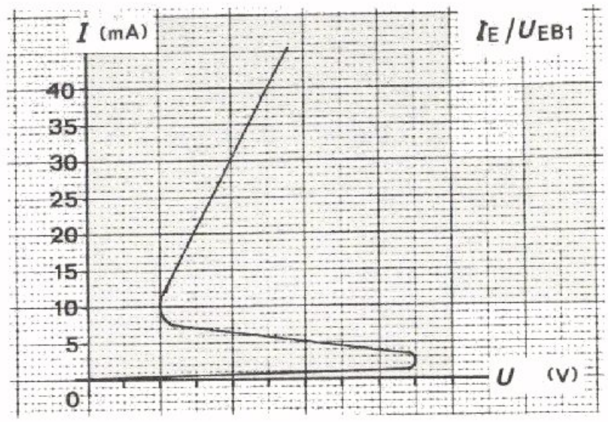
Dezelfde schakeling kan gebruikt worden voor het geven van stroomimpulsen. De ontlaadstroom van de condensator loopt van emitter naar B_1. Door een weerstand in de basisleiding op te nemen verkrijgen we een impulsspanning over deze weerstand. Deze impulsspaning kan tussen de gate en de katode van een thyristor worden aangesloten, zodat daarmee de thyristor geleidend kan worden gemaakt.

TEST UZELF



De basisstroom van de PNP transistor mag worden verwaarloosd. De transistor mag ideaal worden verondersteld. (Er loopt een I_C als $U_{BE} > 0$).

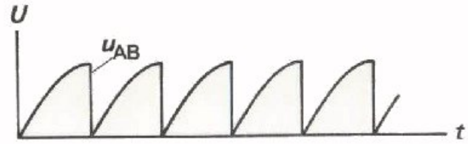
De U.J.T. in nevenstaande schakeling heeft de hieronder gegeven karakteristiek.



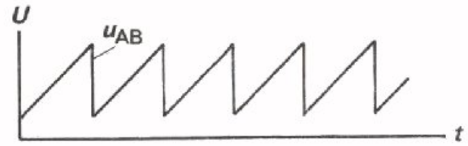
1. Het spanningsverloop tussen de klemmen A en B in bovenstaande schakeling wordt gegeven door:



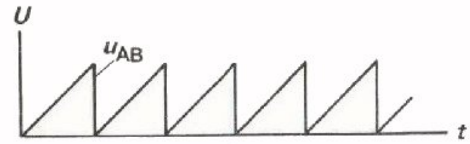
O



O



O



O

2. De top-top-waarde van de uitgangswisselspanning u_{AB} bedraagt:

5 V O

7 V O

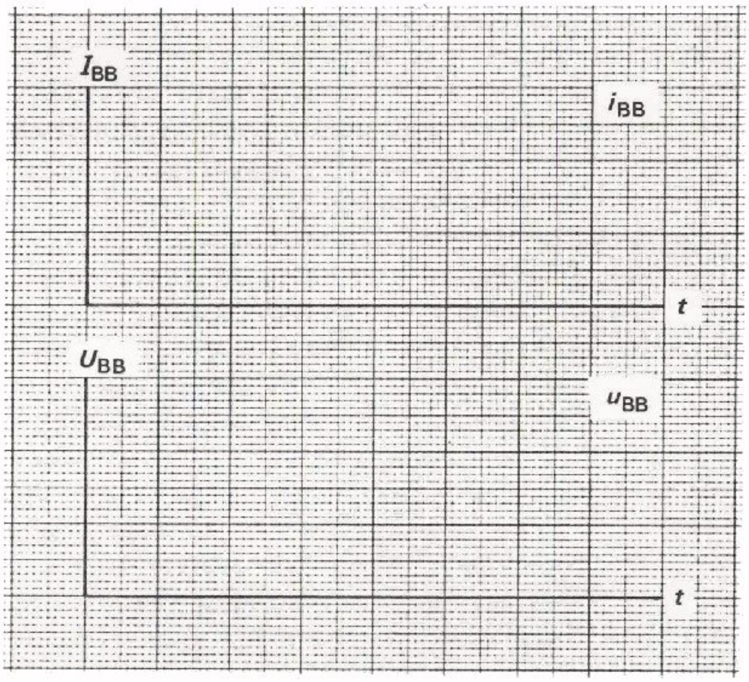
9 V O

12 V O

3. De frequentie van de opgewekte zaagtandspanning van de schakeling op voorgaand blad bedraagt:

280 Hz	O
560 Hz	O
2800 Hz	O
5600 Hz	O

4. Schets het stroomverloop en het spanningsverloop over de U.J.T.



5. Hoe groot is η bij de U.J.T. van voorgaand blad.

0,91	O
0,83	O
0,75	O
0,69	O

G E H E U G E N S T E U N

CODERING VAN HALFGELEIDERS

TYPEAANDUIDING

bestaat uit 2 letters + serienummer.

- EERSTE LETTER
  - A germanium
  - B silicium

- TWEEDE LETTER geeft toepassing.

A	diode voor kleine signalen.
B	variabele capaciteitsdiode.
C	LF-transistor voor kleine vermogens.
D	LF-transistor voor grote vermogens.
F	HF-transistor voor kleine vermogens.
G	kombinatie van aktieve componenten.
L	HF-transistor voor grote vermogens.
P	component gevoelig voor licht of warmte.
R	diac of soortgelijke component.
S	transistor voor schakeldoeleinden en kleine vermogens.
T	thyristor of triac.
U	schakeltransistor voor grote vermogens.
Y	gelijkrichtdiode.
Z	zenerdiode.

- SERIENUMMER.

  3 cijfers: component voor toepassing in massaproduktie.

  letter + 2 cijfers: professionele component.

Het serienummer wordt soms gevolgd door een VERSIELETTER. Deze duidt op een afwijking (andere "versie") van een reeds bestaand type.

Voorbeeld: BFS21A is een afwijking van de BFS21.
De betekenis van deze versieletter moet men in het componentenboek opzoeken.

REEKSAANDUIDING

Sommige componenten voert men uit in reeksen.
Deze geeft men aan door achter de typeaanduiding een streepje te zetten plus een reeksaanduiding.

- Bij ZENERDIODEN bestaat de reeks aanduidingen uit:
  - een letter die de tolerantie aangeeft:

    A = 1%%

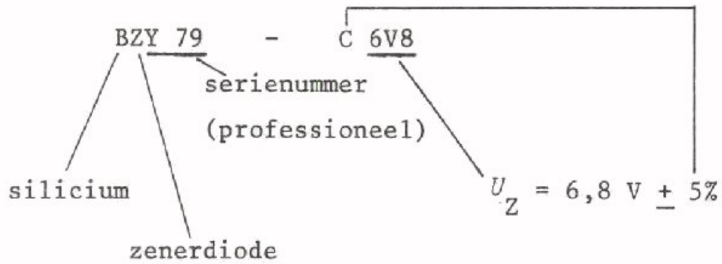
    B = 2%

    C = 5%

    D = 10%

    E = 15%
  - getal dat de zenerspanning aangeeft.

  Voorbeeld:



- Bij DIODEN, THYRISTORS EN TRIACS bestaat de reeksaanduiding uit:

  een nummer dat de maximale sperspanning aangeeft soms nog gevolgd door de letter R.
  Deze letter duidt aan dat de anode in plaats van de kathode aan massa moet liggen.

  Voorbeeld:

